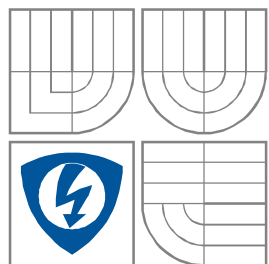


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**  
**ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## **PROGRAM PRO TESTOVÁNÍ MONITORŮ**

PROGRAM FOR MONITOR TESTING

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

Pavel Matyáš

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

Ing. Václav Michálek, CSc.

BRNO, 2009

# OBSAH

<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 Historie LCD</b>	<b>2</b>
<b>2 Princip LCD zobrazovačů</b>	<b>3</b>
2.1 Základní princip LCD .....	3
2.2 Technologie TN (Twisted Nematic) .....	4
2.2.1 B-TN .....	5
2.3 Technologie VA, MVA a PVA .....	5
2.3.1 Prem.MVA .....	6
2.3.2 S-MVA .....	6
2.3.3 S-PVA .....	7
2.4 Technologie IPS (In-Plane Switching) .....	7
2.4.1 S-IPS (Super-IPS) .....	8
2.4.2 Shrnutí .....	8
<b>3 Chyby v obrazu LCD</b>	<b>9</b>
3.1 Vadný subpixel/pixel .....	9
3.1.1 Kontrola přítomnosti vadných pixelů .....	9
3.2 Výskyt cizí částice .....	10
3.3 Line Defect (čárová vada) .....	10
3.4 Spot, Mura, Stain Mura .....	10
3.5 Image persistence (obrazová setrvačnost) .....	10
3.5.1 Příčina .....	11
3.5.2 Prevence .....	11
3.5.3 Řešení problému .....	12
<b>4 Metody testování kvality obrazu</b>	<b>13</b>
4.1 Kontrastní poměr .....	13
4.1.1 Dynamický kontrast .....	13
4.1.2 Statický kontrast .....	14
4.1.3 Shrnutí .....	14
4.2 Homogenita podsvícení .....	15
4.2.1 Katodové podsvícení .....	15
4.2.2 LED podsvícení .....	17

4.2.3	Měření homogenity podsvícení.....	18
4.3	Rovnoměrnost barevných přechodů.....	18
4.3.1	8-bitové zpracování barev .....	19
4.3.2	6-bitové zpracování barev .....	19
4.3.3	Dithering .....	19
4.3.4	Frame Rate Control .....	20
4.3.5	Testovací obrazce.....	21
4.4	Jas.....	21
4.4.1	Regulace pomocí krystalů .....	21
4.4.2	Regulace změnou intenzity podsvícení .....	22
4.4.3	Měření jasu.....	22
4.5	Doba odezvy.....	22
4.5.1	Doba odezvy u LCD monitorů.....	23
4.5.2	Technologie Overdrive.....	24
4.6	Pozorovací úhly.....	26
<b>5</b>	<b>Testovací obrazce</b>	<b>29</b>
5.1	Testovací obrazec pro měření kontrastu .....	29
5.2	Testovací obrazec pro měření homogenity podsvícení .....	29
5.3	Testovací obrazce pro určení rovnoměrnosti barevných přechodů.....	30
5.4	Testovací obrazce pro zjištění vadných pixelů .....	31
5.5	Obrazce pro odstranění obrazové setrvačnosti.....	31
<b>6</b>	<b>Program pro testování monitorů</b>	<b>33</b>
6.1	Program M-Tester .....	33
6.1.1	Uživatelské rozhraní.....	33
6.2	Změny provedené v programu M-tester.....	35
6.2.1	Aktualizace sady testovacích obrazců.....	35
6.2.2	Další úpravy .....	36
<b>7</b>	<b>Měření</b>	<b>37</b>
7.1	Philips 200WP7ES .....	37
7.1.1	Vlastnosti udávané výrobcem .....	37
7.1.2	Měření statického kontrastu .....	37
7.1.3	Měření dynamického (maximálního) kontrastu .....	39
7.1.4	Homogenita podsvícení.....	39

7.1.5	Stabilita kontrastu.....	40
7.2	LG L206WTQ.....	41
7.2.1	Vlastnosti udávané výrobcem .....	41
7.2.2	Měření statického kontrastu .....	41
7.2.3	Měření dynamického (maximálního) kontrastu .....	42
7.2.4	Homogenita podsvícení.....	42
7.3	Shrnutí.....	43
<b>8</b>	<b>Závěr</b>	<b>44</b>
	<b>Abecední seznam zkratk</b>	<b>45</b>
	<b>Seznam použité literatury</b>	<b>46</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>49</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1: Princip funkčnosti jednoho subpixelu LCD zobrazovače [12].....	4
Obr. 2.2: Princip natáčení krystalů MVA panelů [2] .....	6
Obr. 2.3: Princip natáčení krystalů u IPS panelů [6].....	7
Obr. 4.1: Obrazec pro měření statického kontrastu pomocí ANSI metody [22].....	14
Obr. 4.2: Vnímání kontrastu je ovlivněno okolním jasnem [22] .....	15
Obr. 4.3: Princip katodové trubice [26] .....	16
Obr. 4.4: Rozvod světla pomocí plochého světlovodu [26].....	16
Obr. 4.5: Rozvod světla přímou metodou za použití více trubic[26].....	16
Obr. 4.6: Princip bílé a barevných RGB LED [26].....	18
Obr. 4.7: Princip ditheringu [29].....	20
Obr. 4.8: Princip metody Frame Rate Control [29] .....	20
Obr. 4.9: Ukázka ditheringu na notebookovém TN displeji .....	21
Obr. 4.10: Vymezení mezi „rise“ a „fall“ pro určení doby odezvy dle normy VESA [31] .....	23
Obr. 4.12: Přejít obrazu z jasu j do jasu i a) pouze overshoot větší než 110% b) pouze undershoot menší než -10% c) overshoot 110% i undershoot -10% [11] .....	25
Obr. 4.13: Typický průběh odezvy se schody [32] .....	26
Obr. 4.14 Typický průběh odezvy s překmitem overdrive [2].....	26
Obr. 4.15: Příklad závislosti kontrastního poměru na úhlu pohledu dvou panelů [31] ..	27
Obr. 4.16: Závislost kontrastního poměru na úhlech pohledu v obou rovinách [31].....	28
Obr. 5.1: Obrazec pro měření homogenity podsvícení .....	30
Obr. 5.2: Obrazec pro určení rovnoměrnosti barevných přechodů - duha.....	31
Obr. 5.3: Ukázky obrazců pro určení rovnoměrnosti barevných přechodů .....	31
Obr. 6.1: Ovládací panel programu M-tester .....	34
Obr. 6.2: Ukázka možnosti nastavení vybraných testovacích obrazců (zleva): Kontrast, Barvy a Pumpování obrazu .....	35

# SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1: Definice maximálního počtu chyb na milion pixelů dle normy ISO 13406-2 [30] .....	9
Tab. 5.1: Seznam klávesových zkratk pro barevné přechody .....	31
Tab. 7.1: Naměřené hodnoty jasu pro černé a bílé obdélníky ze šachovnicového testovacího obrazce .....	38
Tab. 7.2: Naměřené hodnoty jasu pro černé a bílé obdélníky ze šachovnicového testovacího obrazce .....	38
Tab. 7.3: Naměřené hodnoty jasu pro jednotlivé části obrazovky (všechny hodnoty jsou v $[cd/m^2]$ ): .....	40
Tab. 7.4: Naměřené hodnoty jasu pro bílé a černé obrazce při postupném zvyšování jasu z 0 na 100%: .....	40
Tab. 7.5: Naměřené hodnoty jasu pro černé a bílé obdélníky ze šachovnicového testovacího obrazce .....	41
Tab. 7.6: Naměřené hodnoty jasu pro jednotlivé části obrazovky (všechny hodnoty jsou v $[cd/m^2]$ ): .....	43

# ÚVOD

Bakalářská práce je zaměřena na počítačové LCD panely, které již prakticky nahradily CRT monitory a získaly si tak dominantní postavení na trhu s výpočetní a kancelářskou technikou. Na trhu je dnes obrovské množství LCD panelů, které se liší typem použité technologie a svými parametry.

Cílem této bakalářské práce je seznámit se s LCD panely a s metodami jejich testování, včetně návrhu testovacích obrazců. V úvodu popisuje historii a základní princip LCD panelů. Následně uvádí popis jednotlivých typů panelů, včetně jejich specifických vlastností a parametrů. Další část projektu se zabývá metodami jak tyto vlastnosti a parametry měřit a testovat. V této části se navíc zabývá vznikem chyb v obraze a případnými korekcemi, které by tyto chyby eliminovaly.

V závěru mé práce je uveden návrh testovacích obrazců a jejich implementace do univerzálního testovacího programu, který slouží jako pomůcka pro testování LCD panelů.

# 1 HISTORIE LCD

Současné LCD monitory spatřily světlo světa teprve zhruba před 30 lety, kdy se začaly vyrábět mobilní osobní počítače, pro které se CRT zobrazovací jednotky příliš nehodily kvůli své energetické náročnosti. Historie samotných tekutých krystalů se začala psát zhruba v polovině 19. století, kdy tři chemici Mettenheimer, Virchow a Valentin objevili, že nervové vlákno (přesněji látka „myelin“, která v lidském těle pokrývá nervová vlákna) [1] po vložení do vody vytvoří tekutou substanci, která se po osvětlení polarizovaným světlem chová podivně. Za tento svůj objev jsou tito tři chemici považováni za objevitele tekutých krystalů. Až po téměř 40 letech, přesněji v roce 1877, použil německý fyzik Otto Lehmann polarizační mikroskop s kontrolou teploty vzorku, kterým zkoumal přechody mezi fázemi jodidu stříbrného a benzoátu cholesterolu. Objevil, že jedna fáze při přechodu z kapalné do tuhé vytvoří jakousi mezifázi. Tato mezifáze byla nazvána fáze tekutých krystalů (liquid crystal phase). V roce 1888 rakouský botanik Friedrich Reinitzer, působící na univerzitě v Praze, zkoumal vlastnosti organické látky cholesterylbenzolátu, což je látka, která má podobu zakalené tekutiny. Zkoumáním zjistil, že se tato látka při teplotě 146°C chová jako tekutý krystal a zkapalňuje až při teplotě 179°C. Tímto pokusem vlastně Reinitzer potvrdil to, na co přišel Lehmann před 11 lety. Po roce 1888 začala éra vývoje a výzkumu tekutých krystalů a vznikla velká řada teoretických prací. V roce 1911 Charles Mauguin popisuje strukturu a vlastnosti tekutých krystalů.

Další významnější objev v oblasti tekutých krystalů přišel v roce 1922, kdy v Paříži, ve Francii, vkládal Georges Freidel tekuté krystaly do elektrického pole a byl první, kdo zjistil, že se molekuly tekutých krystalů orientují ve směru elektrického pole. Freidelovi však tento objev nestačil. Prováděl další experimenty a navrhl klasifikační schéma pro dělení krystalů na nematic, smectic a cholesteric, které se používá dodnes. Následně Carl Oseen ze Švédska pracoval na elastických vlastnostech tekutých krystalů. Výsledky jeho výzkumu byly využity v teorii kontinua Angličana F. C. Franka. Tato teorie je dnes jedna ze základních teorií popisu tekutých krystalů.

Masovému rozšíření tekutých krystalů však bránil fakt, že krystaly byly velmi citlivé na změny teplot a mimo své provozní teploty se chovaly chaoticky. V roce 1939 vypukla druhá světová válka, během níž se o tekuté krystaly nikdo nezajímal. Ve výzkumu pokračoval George William Gray, který v roce 1962 publikoval knihu s názvem „Molekulární struktura a vlastnosti tekutých krystalů“. Ke konci 60. let byla Královskému radarovému institutu (RRE) v Malvern zadána práce na tekutých krystalech. Tým RRE podporoval pokračující práci George Graye a jeho týmu z Hullské univerzity, který nakonec objevil tekuté krystaly z cyanobiphenylu. Krystaly měly potřebnou teplotní stabilitu. Zhruba ve stejné době za oceánem, v USA, v roce 1963 Richard Williams, výzkumník laboratoří RCA (Radio Corporation of America), objevil, že světlo procházející tenkou vrstvou tekutých krystalů je ohýbáno podle krystalické struktury a o pět let později roku 1968 pak společně s kolegou Georgem Heilmaierem vyrobil první experimentální displej z tekutých krystalů. Tyto displeje se začaly využívat v kalkulačkách a v různé měřící technice. Postupem času se tyto displeje zdokonalovaly, zjemňovaly se a také se snižovala jejich spotřeba elektrické energie.



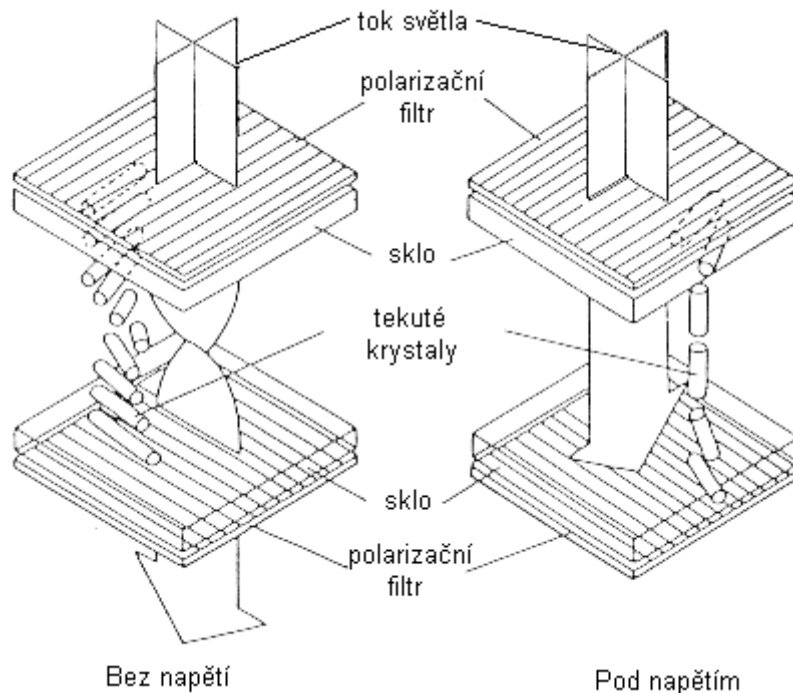
Stále se však vyráběly jen černobílé displeje. Teprve v 80. letech se začaly používat desky, které polarizovaly světlo tak, aby v každých sousedních třech krystalech procházela jiná barva světla [9, 10].

## **2 PRINCIP LCD ZOBRAZOVAČŮ**

Od 80. let začal masivní rozvoj zobrazovacích jednotek postavených na bázi tekutých krystalů. Hlavním důvod byl, že se začaly objevovat přenosné osobní počítače a jiná přenosná zařízení, pro které byla potřeba zobrazovacích jednotek s malou spotřebou, rozměry a hmotností. V té době nejrozšířenější CRT zobrazovače byly naprosto nevhodné pro tato použití. Zobrazovače na bázi tekutých krystalů tyto 3 podmínky splňovaly, ale na druhou stranu zaostávaly za CRT monitory v kvalitě obrazu. Do zdokonalování panelů z tekutých krystalů se tedy pustila spousta firem ve snaze se vlastnostmi LCD obrazu přiblížit ke kvalitě CRT. Postupem času se vyprofilovaly 3 odlišné technologie, které stále vycházejí se základního principu LCD panelů.

### **2.1 Základní princip LCD**

Základní princip je velice jednoduchý. LCD zobrazovače využívají změn optických vlastností tekutých krystalů vyvolaných změnou elektrického pole, které na ně působí. Podle uspořádání molekul rozdělujeme tyto tekuté krystaly na nematické, smectické a sloupcové. U zobrazovacích LCD panelů se kvůli svým vlastnostem využívají nematické krystaly [5]. Jejich molekuly jsou podlouhlé a úzké a mají orientované uspořádání. Samotná technologie je pasivní, tzn. že sama o sobě nevydává žádné viditelné světlo. K tomu, abychom na displeji něco viděli, potřebujeme zdroj světla, což nejčastěji zajistíme podsvětlovacími katodovými trubicemi nebo vnějším odraženým světlem. Katodové trubice vytváří tzv. bílé světlo, které je složeno ze všech barevných spekter světla. Toto světlo se u barevných LCD dále rozkládá na tři základní barevné složky RGB, což nám zajišťují barevné filtry [2].



Obr. 2.1: Princip funkčnosti jednoho subpixelu LCD zobrazovače [12]

Na **Obr. 2.1** je vidět, že každý obrazový bod je ohraničen dvěma polarizačními filtry, které jsou na sebe kolmé a tenkými skleněnými panely na které jsou pokryty tenkou vrstvou metal oxidu, který slouží jako elektroda [13]. Bez přivedeného napětí na elektrody je tekutý krystal tzv. v základním stavu. V tomto stavu je světlo natáčeno takovým způsobem, že může projít druhým polarizačním filtrem (na obrázku stav „bez napětí“). V okamžiku přivedení napětí na elektrody jsou molekuly tekutých krystalů taženy rovnoběžně s elektrickým polem, což má za následek snižování rotace vstupujícího světla přes první polarizační filtr. Pokud bude velikost elektrického pole dostatečně velká, tak bude světlo polarizováno kolmo k druhému polarizačnímu filtru a bude úplně blokováno. Důsledkem této situace by měla být černá barva (na obrázku stav „pod napětím“). O to jak bude velké napětí na elektrodě se nám stará TFT, jehož doslovný překlad do češtiny je „tenký fóliový tranzistor“. Takový tenký fóliový tranzistor má na každý pixel u barevného LCD panelu hned tři.

## 2.2 Technologie TN (Twisted Nematic)

TN panely v současné době patří k nejlevnější a nejstarší používané technologii. Využívá základní princip LCD panelů, který byl podrobně rozebrán v předchozí kapitole. TN panely se také vyznačují obdélníkovým pixelem, což má za následek různé pozorovací úhly v horizontálním a vertikálním směru (ve vertikální rovině, odshora dolů, jsou vždy horší) [2]. Současné TN panely jsou doplněny ještě tenkým

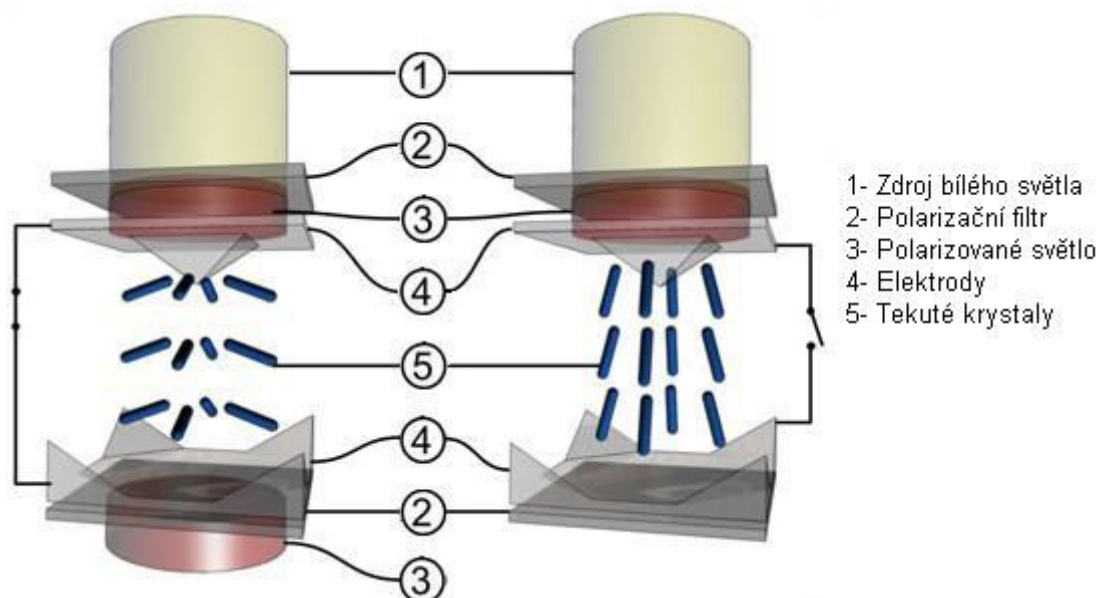
filmem, který je doplňkovou optickou vrstvou relativně zlepšující pozorovací úhly. Podání barev je jedno z nejhorších ze všech tří v dnešní době používaných technologií. Je to zapříčiněno šroubovitým uspořádáním molekul, které je velice složité [2]. Díky tomu dochází při průchodu světelného paprsku k velkým nepřesnostem. Z tohoto důvodu se TN panely nehodí pro práci, kde je kladen velký důraz na věrné podání barev. Další velký neduh, kterým ostatní technologie netrpí jsou svítící vadné pixely [2]. Je to dáno tím – aby krystal zabránil průchodu světla, musí být do něj přivedeno napětí, což však při poškozeném řídicím tranzistoru není možné. Jediná výhoda současných TN panelů je velice nízká doba odezvy, která se reálně pohybuje kolem 2ms. I přes tyto nevýhody jsou panely s technologií TN nejrozšířenější, protože v porovnání s ostatními technologiemi jsou TN panely nejlevnější.

### **2.2.1 B-TN**

Jediné v čem se tato inovovaná technologie liší od TN panelů je fakt, že pixel je čtvercový a díky tomu jsou pozorovací úhly stejné v obou směrech.. Obrazovky B-TN vyrábí firma Samsung [2].

## **2.3 Technologie VA, MVA a PVA**

V roce 1996 přišla firma Fujitsu s myšlenkou orientovat molekuly vertikálně, z čehož vyplývá název VA (Vertical Alignment) [2]. Díky otáčení molekul pouze o 45° bylo dosaženo vysokého kontrastu a nízké odezvy, ale to vše za cenu, že světlost bodu byla příliš závislá na velikosti úhlu pohledu. Proto v roce 1998 Fujitsu přišlo s vylepšením původní VA matice a uvedlo na trh technologii MVA (Multi-Domain Vertical Alignment). Molekuly jsou nyní rozděleny do domén, ve kterých jsou orientovány prostorově tak, aby došlo k optické kompenzaci viz. Obr. 2. Počet domén není u moderních displejů omezen pouze na dvě. Tato technologie také eliminuje syndrom svítícího mrtvého pixelu/subpixelu. Je to díky tomu, že pixel je v propustném stavu jen tehdy, když je na něj přivedeno napětí (přesně naopak oproti TN).



Obr. 2.2: Princip natáčení krystalů MVA panelů [2]

Na **Obr. 2.2** vidíme čtyř-doménovou technologii MVA. Specifický tvar elektrod zajišťuje všude stejnou vrstvu tekutých krystalů, což zaručuje stejnoměrný průchod světla. V levé části obrázku je na elektrody přivedeno napětí, které pootáčí molekuly do polohy, kdy může světlo procházet druhým polarizačním filtrem. Pravá část zobrazuje subpixel ve vypnutém stavu, kdy ním neprochází žádné světlo.

Technologie PVA pochází z dílny Samsungu. Tato technologie se od MVA liší jen v maličkostech, které však Samsung neuveřejnil [2].

### 2.3.1 Prem.MVA

Panely Prem.MVA vyrábí čínská AU Optonics. Prakticky v ničem se neliší od technologie MVA [2].

### 2.3.2 S-MVA

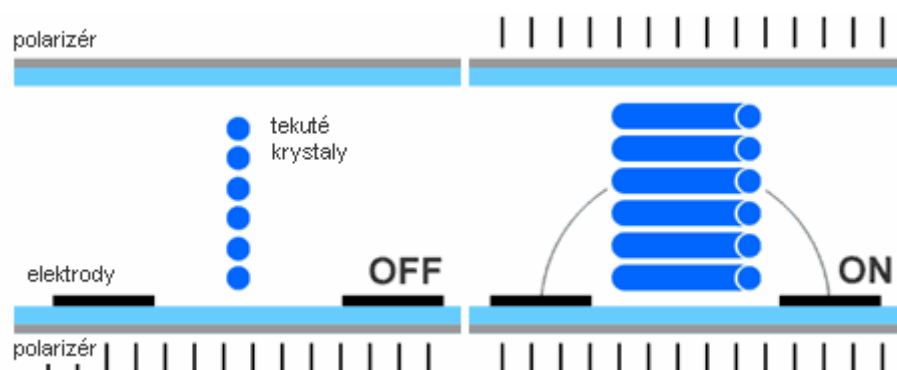
Panely S-MVA vyrábí Chi Mei Optoelectronics. I zde je vše stejné jako u panelů MVA [2].

### 2.3.3 S-PVA

Panely S-PVA vyrábí Samsung. Využívá u něj 8 domén, což má za následek zlepšení pozorovacích úhlů a kontrastu [2].

## 2.4 Technologie IPS (In-Plane Switching)

Firma Hitachi [2] se při vývoji zaměřila na odstranění nedostatků původních TN matic. Konkrétně šlo o barevné podání a kontrast. První panel využívající technologii IPS uvedla firma Hitachi v roce 1996 [5]. Pro odstranění nedostatků původních TN matic musel výrobce zvolit jiné technologické uspořádání panelu. Elektrody se u tohoto panelu nacházejí ve stejné rovině. V základním (vypnutém) stavu panel nepropouští světlo, proto i zde se zůstává vadný pixel případně subpixel tmavý [6]. Teprve poté, kdy je zvýšeno napětí na elektrodách, se molekuly natáčí až do 90 ° a propouštějí tak světlo různé intenzity. Vzhledem k tomu, že se tekuté krystaly natáčí pouze v jedné rovině, tak jsou oba krajní stavy mnohem přesnější a lépe definované [5]. Díky tomu panely IPS vynikají věrnými barvami a velkými pozorovacími úhly. Jelikož elektrody vyžadují více místa (jsou dvě na jedné stěně na rozdíl od ostatních, které mají na každé stěně jednu elektrodu), a tak jsou subpixely resp. pixely o něco menší a obraz působí hrubším dojmem (je více vidět mřížka mezi pixely). Dále je třeba silnější podsvícení. Je to dáno tím, že okrajové molekuly (nejdále od elektrod) jsou vystaveny slabšímu elektrickému poli (nejsou zcela otočeny), a tak celkově subpixel propouští méně světla [5]. Z toho plyne i menší jas a kontrast. První IPS panely měly odezvu až 60ms. Proto se hledaly, způsoby jak odezvu snížit při zachování kontrastu a barevného podání. Výsledkem výzkumu byly technologie označované jako Dual Domain IPS (DD-IPS), Advanced Coplanar Electrode (ACE) nebo Super-IPS (S-IPS). První zmiňovaná technologie pochází z dílny IBM a druhá je od Samsungu. V praxi se však ani s jednou nesetkáme. Výroba ACE byla zastavena a DD-IPS nejsou určeny pro domácí použití díky své extrémně velké ceně. Třetí zmiňovaná technologie je S-IPS.



Obr. 2.3: Princip natáčení krystalů u IPS panelů [6]

### 2.4.1 S-IPS (Super-IPS)

Panely S-IPS vyrábí firma LG.Philips [2]. Vylepšení technologie IPS na S-IPS znamenalo přidání domén do každého subpixelů (podobně jako to mají technologie xVA). Díky tomu jsou zvětšeny pozorovací úhly až k  $178^\circ$  v obou směrech, samozřejmě je kontrast vyšší. Matice S-IPS přinesly zlepšení odezvy na průměrnou úroveň 20-25ms. Ty nejrychlejší S-IPS panely mají odezvu 16ms.

### 2.4.2 Shrnutí

Dnešní TFT matrice se dají rozdělit podle technologie na matrice TN, xVA a IPS.

Panely s technologií TN nabízejí krátké doby odezvy, které se v současné době pohybují v rozmezí 2-10ms. Avšak kontrast dosahující hodnoty kolem 400:1, slabé podání barev a úhly pohledu ne větší jak  $145^\circ$  - jsou v dnešní době pouze průměrné. Další velký problém jsou svítící mrtvé body, které působí velice rušivě. Každopádně díky rychlé odezvě je technologie TN vyhledávaná hlavně hráči her a pro kancelářskou práci.

Matrice MVA/PVA mají velké úhly pohledu dosahující  $178^\circ$  a vysoký kontrastní poměr – až 1000:1. Doby odezvy 6-16ms jsou vzhledem k technologii TN pouze průměrné, avšak jsou stále v únosné míře. Technologie prem.MVA má slabší podání barev. Tyto panely jsou jakýmsi kompromisem mezi panely TN a S-IPS.

Základní matrice IPS nabízejí malý kontrastní poměr, který je na úrovni TN. Disponují však dobrými úhly pohledu které dosahují ke  $170^\circ$ . Čas odezvy 60ms je na úrovni prvních TN panelů. S příchodem S-IPS kontrastní poměr vystoupal až k hodnotě 800:1. Doba odezvy se přiblížila k hodnotám kolem 20ms a pozorovací úhly vzrostly na  $178^\circ$ . Díky svému vynikajícímu barevnému podání jsou panely S-IPS vhodné pro práci s grafikou.

## 3 CHYBY V OBRAZU LCD

V začátcích LCD panelů bylo až 60% panelů sjíždějících z výrobní linky vadných, což mimo jiné mělo za následek jejich vysokou cenu. V současné době mají výrobci plochých panelů svoje výrobní technologie zvládnuté natolik, že chyby v panelu jsou spíše výjimkou. Vzhledem k charakteru chyb je většinou jejich korekce nemožná.

### 3.1 Vadný subpixel/pixel

Jedná se o nejznámější chybu u LCD panelů. O projevu vadných pixelů byla zmínka v popisu každé technologie LCD panelu. V této podkapitole se o vzniku a projevu této chyby zmíníme trochu podrobněji. Jak už bylo řečeno, tak u technologie TN se vadný pixel vždy projevuje jako svítící bod, který podle normy spadá do první třídy. U všech ostatních technologií se projevuje jako černé místo. Tyto vadné pixely spadají do druhé třídy. V případě výpadku jen subpixelu se chyba projeví špatným zobrazením barvy. Norma je řadí do třetí třídy. Problematiku vadných pixelů řeší norma ISO 13406-2, z níž záruky TFT LCD displejů vychází. Norma definuje jak parametry pro celý monitor, tak chyby v clusteru (čtverec o rozměrech 5 x 5 pixelů) viz. **Tab. 3.1**. Norma stanovuje čtyři kvalitativní třídy, přičemž displeje, se kterými se setkáte v obchodech, jsou ve třídě 2, pouze výjimečně pak ve třídě 1.

Tab. 3.1: Definice maximálního počtu chyb na milion pixelů dle normy ISO 13406-2 [30]

Třída	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Cluster více než jedné chyby typu 1 nebo typu 2	Cluster chyb typu 3
I	0	0	0	0	0
II	2	2	5	0	2
III	5	15	50	0	5
IV	50	150	500	5	50

#### 3.1.1 Kontrola přítomnosti vadných pixelů

Kontrola přítomnosti vadných pixelů nebo subpixelů se provádí postupným zobrazením ploch v základních barvách RGB, bílé a černé. Na těchto barevných plochách se hledají obrazové anomálie, které vznikají vlivem přítomnosti vadného pixelu nebo subpixelu. V případě vadných pixelů se na černé ploše hledá svítící bod,

v případě TN panelu a v případě ostatních typů panelů se na bílé ploše hledají nesvítící body. Plochy v barvách červené, zelené a modré se používají pro zjištění přítomnosti vadných subpixelů, kdy se postupným zobrazováním jednotlivých barev hledají v ploše barevné anomálie.

### **3.2 Výskyt cizí částice**

Další vada se velmi podobá vadným pixelům. Projevuje se totiž stejně jako vadný pixel, pouze s tím rozdílem, že může zasahovat do okolních pixelů. Další rozdíl je ten, že se i na technologii TN projevuje jako černý bod.

### **3.3 Line Defect (čárová vada)**

Další chyba se projevuje svislou nebo vodorovnou čarou přes celý monitor. Podle toho se jí říká čárová vada. Tato vada se může vyskytovat v různých barevných variantách. Jelikož jsou jednotlivé pixely adresovány po řadách a sloupcích, tak v případě špatného napojení tenkého měděného drátku se samotnou maticí LCD panelu má za následek výpadek celé řady nebo sloupce pixelů [33]. Pokud vypadne více řádků nebo sloupců za sebou, tak se chyba označuje jako „Block defect“. Na fotografii v příloze A5 je tato chyba zachycena na LCD televizi Philips. V obou případech se jedná o neopravitelnou chybu.

### **3.4 Spot, Mura, Stain Mura**

Poslední trojice vad si je natolik podobná, že se uvádí společně. Pojem mura označuje skvrny, často viditelné pouze na šedém pozadí nebo pod ostrým úhlem pohledu. Všechny tři vady jsou tedy tmavé skvrny o velikosti nad 5mm, které se liší pouze svým tvarem. První z jmenovaných "Spot" má kruhovitý tvar [2]. Druhá ze jmenovaných "Mura" je nepravidelného tvaru a poslední "Stain Mura" má také nepravidelný tvar, který je ještě navíc ostře ohraničený. Jedná se o neopravitelné chyby.

### **3.5 Image persistence (obrazová setrvačnost)**

Jedním z problémů s CRT monitory byl stav zvaný vypalování obrazu (Burn-in), který měl za následek stálý otisk obrazu. To bylo způsobeno zobrazením konkrétního obrazce po delší časové období, což mělo za následek snižování svítivosti luminoforu a



obraz byl doslova vypálen do obrazovky.

LCD monitory využívají, pro tvorbu obrazu na obrazovce jiného principu, než CRT monitory, takže vypalováním obrazu, tak jak ho známe u CRT monitorů, netrpí. Trpí však tzv. obrazovou setrvačností (Image persistence), což je jev velmi podobný vypalování obrazu, avšak s tím rozdílem, že účinky jsou většinou pouze dočasné.

### 3.5.1 Příčina

Tekuté krystaly mají přirozený uvolněný stav. Po přivedení elektrického napětí krystaly změny svojí strukturu a tím propouští určité množství světla. Jestliže po delší časový úsek (řádově dny) ponecháme na krystalu stejné napětí (například ve Windows lišta s nástroji), tak tekuté krystaly mohou mít tendenci k tomu, aby zůstaly v této poloze i po odpojení napětí. Tato, i sebe více nepatrná tendence krystalů zůstat uspořádaný v jedné pozici, může posunout požadovanou barvu o pár stupňů, které způsobí, že obraz vypadá jako tradiční vypálení obrazu, které známe z CRT monitorů.

Skutečná příčina této tendence je nejasná. Může to být způsobeno hromaděním iontových nečistot uvnitř LCD [18], vytvářením elektrického náboje blízko elektrod [19], parazitní kapacitou [20] nebo stejnosměrnou složkou napětí, která se vyskytuje u některých zobrazovaných pixelů, kvůli anizotropii v dielektrické konstantě kapalného krystalu [21].

### 3.5.2 Prevence

Dodržováním několika jednoduchých zásad se dá obrazové setrvačnosti velice účinně předcházet:

1. Používat funkci automatického vypnutí monitoru, která uvede LCD monitor do režimu stand-by, pokud je systém delší dobu nečinný, což zabrání tomu, aby byl na obrazovce stejný obraz po delší časový úsek. [17]
2. Využívat spořičů obrazovky, které se buď otáčí nebo mají pohyblivé grafické obrázky, které zabraňují, aby byl stejný obraz na obrazovce po delší časový úsek. [17]
3. Jednou za čas změnit pozadí pracovní plochy, případně schovat nebo přemístit prvky, které se za běžných okolností zobrazují permanentně (například ve Windows se jedná o panel nástrojů). Pozadí na ploše společně se statickými prvky jsou jednou z nejčastějších příčin obrazové setrvačnosti. [17]
4. Vypínat LCD monitor vždy, když není systém v provozu. Obvykle stačí monitor každý den na 15 minut vypnout, což je dostatečně dlouhá doba pro prevenci před obrazovou setrvačností. [17]

Z výše uvedených bodů vyplývá, že obrazová setrvačnost bude častěji postihovat spíše jednoúčelové LCD panely, na kterých se zobrazují stále stejné informace (například informační panely na letištích, vlakových nádražích atp.). U počítačových LCD panelů se s obrazovou setrvačností běžný uživatel prakticky nesetká, protože výše uvedené body dodržuje, aniž by si to uvědomoval.

### 3.5.3 Řešení problému

Pomocí výše uvedených položek se dá předcházet obrazové setrvačnosti. Ale co v případě, že monitor již obrazovou setrvačností trpí? Zde je několik kroků, které mohou problém vyřešit:

1. Nechat LCD monitor vypnutý po delší časový úsek. Délka vypnutí se odvíjí od rozsahu poškození. Doba vypnutí se může pohybovat od několika hodin, až po několik dní. [17]
2. Použít spořič, na kterém bude periodicky se otáčející barevná paleta, která odstraní obrazovou setrvačnost, ale tento způsob může zabrat velmi hodně času. [17]
3. Nechat na LCD monitoru problikávat bílou a černou barvu, což jsou obě krajní polohy krystalů. Rychlost problikávání je dobré nastavit tak, aby se krystaly stačily otočit z jedné krajní ( bílá ) pozice do druhé krajní pozice (černá), což představuje čas odezvy z 0-255-0 + 5-10ms jako rezervu. Blikání je dobré nechat zapnuté řádově desítky hodin s občasnými pauzami, aby se zahřáté krystaly mohly ochladit. [17]

Pokud porovnáme tyto body, které mají odstranit následky obrazové setrvačnosti s body, které slouží jako prevence před obrazovou setrvačností, zjistíme, že jednotlivé postupy jsou v principu prakticky shodné, liší se jenom v tom, že k odstranění následků obrazové setrvačnosti je zapotřebí mnohem více času.

## 4 METODY TESTOVÁNÍ KVALITY OBRAZU

K testování kvality obrazu LCD panelů se ve většině případů využívá optické sondy, což je zařízení, které měří intenzitu světla. Samotná optická sonda se dá použít k měření kontrastu a homogenity podsvícení LCD panelu. K měření pozorovacích úhlů je zapotřebí složitějších metod a přístrojů.

### 4.1 Kontrastní poměr

Obecně kontrastní poměr udává hodnotu, která je definována jako poměr jasu mezi nejjasnější (bílá) a nejtmaší (černá) barvou, které je systém schopen produkovat. Čím větší je kontrastní poměr zobrazovacího zařízení, tím větší je rozdíl mezi bílou a černou barvou. Například kontrast 400:1 znamená, že černá je 400krát tmavší, než bílá. Z toho plyne, že vysoký kontrastní poměr je žádoucím aspektem pro každý displej. Výrobci LCD panelů proto používají pro určení kontrastu různé měřící metody, se kterými na stejných panelech dosahují rozdílných výsledků. Podle způsobu měření se určují dva základní druhy kontrastu.

#### 4.1.1 Dynamický kontrast

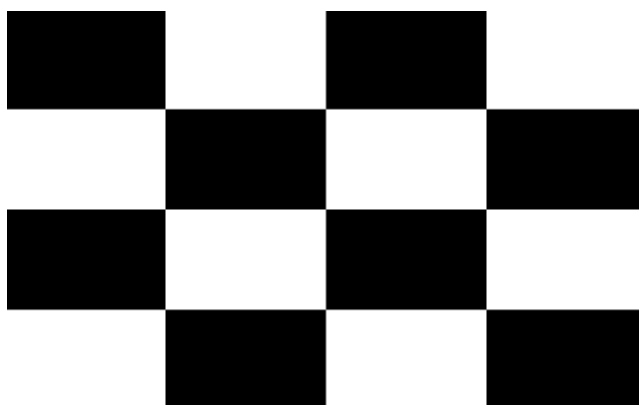
Dynamický kontrast se vyjadřuje jako maximální poměr mezi jasem nejjasnější a nejtmaší barvy, které je systém schopný v průběhu času produkovat. K měření dynamického kontrastu se využívá takzvané metody „Full On/Off“, kdy se nejdříve změří intenzita jasu při zobrazení pouze bílé barvy, potom při zobrazení pouze černé barvy. Tento způsob měření také eliminuje jev, kdy při společném zobrazení černé a bílé barvy dochází ke snížení výsledného kontrastu vlivem zpětného odrazu světla od stěn místnosti zpět na povrch displeje.

V reálném provozu takto vysokého kontrastu nedá dosáhnout, ačkoliv se o to výrobci LCD panelů snaží metodou, kdy čip vyhodnocuje aktuální obraz a pokud je hodně tmavý, tak ubere na intenzitě podsvětlovacích trubic. Tím Sníží i jas celého obrazu. Naopak pokud je v obraze hodně světlých míst, tak se podsvětlovací trubice zapnou na maximum. Tato metoda se ještě více vylepšila příchodem LED posvícení, kdy je možné zároveň jednu část panelu ztmavit a druhou zesvětlit [2].

### 4.1.2 Statický kontrast

Statický kontrast je poměr mezi jasně nejjasnější a nejtmavší barvy, které je systém schopný produkovat současně v jakémkoli časovém okamžiku. Způsob určování statického kontrastu definuje norma ANSI IT7.215-1992, od které je odvozen i název ANSI kontrast, se kterým se občas můžeme setkat [22].

ANSI kontrast se měří při současném zobrazení černé a bílé barvy na šachovnicovém zkušebním obrazci, který obsahuje 8 bílých a 8 černých obdélníků (**Obr. 4.1**). Výsledná hodnota statického kontrastu se potom určí tak, že se průměrný jas bílých obrazců vydělí průměrným jasnem černých obrazců. Statický kontrast představuje spravedlivější způsob měření kontrastu, než měření metodou full on/off, protože současná přítomnost bílé a černé barvy v měřicím obrazci více odpovídá reálnému provozu LCD panelu a tedy i hodnota kontrastu více odpovídá realitě.



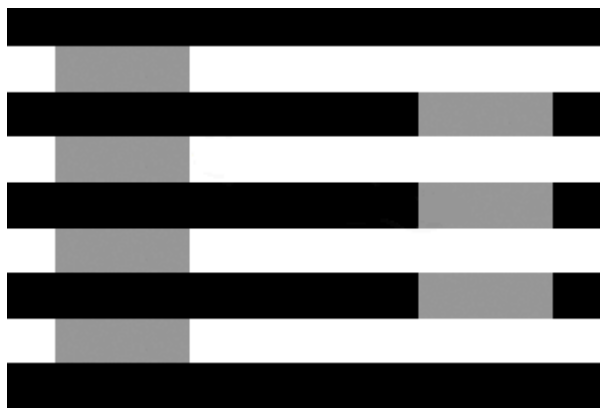
Obr. 4.1: Obrazec pro měření statického kontrastu pomocí ANSI metody [22]

### 4.1.3 Shrnutí

Kontrast je jeden z důležitých údajů, které mají vliv na kvalitu zobrazení u LCD panelu, ale při samotném výběru LCD panelu bychom měli považovat hodnotu kontrastu udávanou výrobcem jen jako jakýsi orientační údaj, protože výše popsané metody měření nejsou pro výrobce povinné. Každý výrobce si tedy může metodiku určování kontrastu přizpůsobit tak, aby dosáhl co nejvyššího kontrastu, kterého se dá dosáhnout jen v laboratorních podmínkách.

Dále bychom měli brát v potaz, že lidské oko, na rozdíl od elektronických senzorů, není absolutní senzor. Například na **Obr. 4.2** má všech 7 obdélníků stejnou barvu, ačkoliv se zdá, že obdélníky vpravo mají světlejší barvu, než obdélníky vlevo. Je to dáno tím, že vnímání kontrastu je ovlivněno okolním jasnem a tudíž obdélníky

obklopené černou barvou se zdají být tmavší, než obdélníky, které kolem sebe mají bílou barvu.



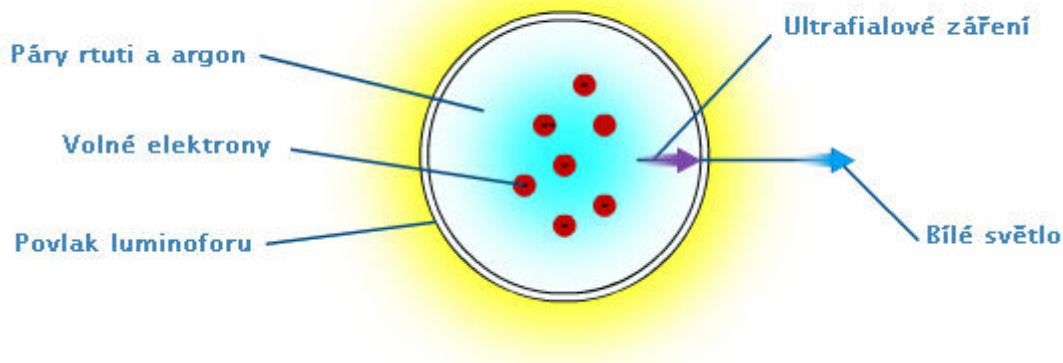
Obr. 4.2: Vnímání kontrastu je ovlivněno okolním jasnem [22]

## 4.2 Homogenita podsvícení

Jak bylo již dříve zmíněno, tak samotná technologie LCD je pasivní, tzn. že sama o sobě nevydává žádné viditelné světlo. Pokud tedy chceme na LCD panelu něco vidět, tak za ním musí zářit nějaký zdroj světla nazývaný BLU (Back Light Unit), který se potom přes filtry rozdělí na jednotlivé barevné RGB složky a samotné LCD krystaly propustí jen potřebné množství světla pro dané zobrazení. Nejčastěji se používá katodového podsvícení, ale poslední dobou se již začínají objevovat i panely s LED podsvícením.

### 4.2.1 Katodové podsvícení

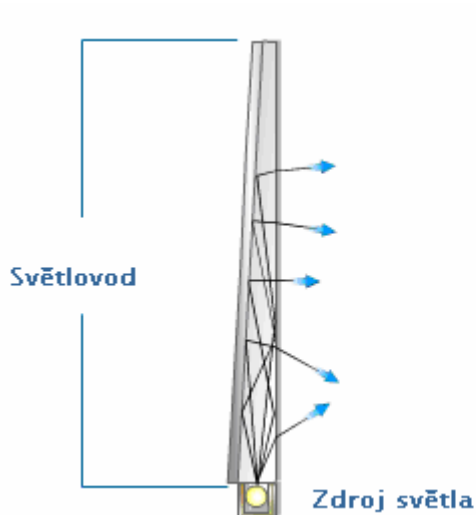
Nejčastěji se u LCD monitorů můžeme setkat s tenkými fluorescenčními výbojkami se studenou katodou CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp). V principu se jedná o obyčejné zářivky vyzařující UV světlo, které je na fluorescenční vrstvě přeměněno na viditelné bílé světlo (**Obr. 4.3**). U těchto zářivek je kladen velký důraz na to, aby trubice svítila rovnoměrně po celé své délce [2].



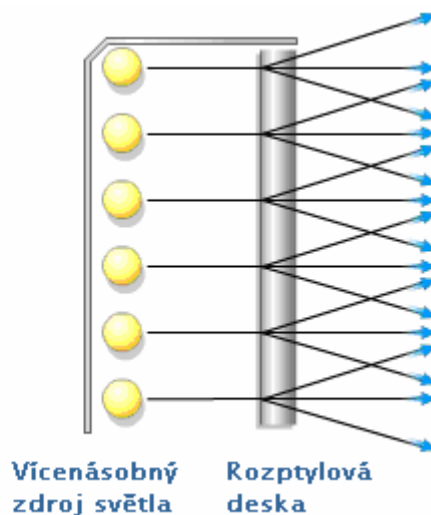
Obr. 4.3: Princip katodové trubice [26]

Dle použití se u LCD panelů používá různý počet podsvětlovacích trubic. U levných LCD panelů pro kancelářské a domácí využití se používá systém jedné nebo dvou trubic, což má za následek nerovnoměrné podsvícení. Střední třída LCD panelů využívá pro podsvětlení panelu čtyř trubic a u profesionálních LCD panelů se používá až čtrnáct trubic, takže podsvícení je velmi rovnoměrné. Větší počet podsvětlovacích trubic také zvyšuje jejich životnost, protože jednotlivé trubice nejsou namáhány tak, jako když dvě trubice musí podsvítit celý panel. Obvyklá životnost trubic je 50 000 hodin, což je čas, za který dosáhne trubice poloviční svítivosti [2].

Světlo z trubic se dále musí co nejrovnoměrněji rozvést po celé ploše displeje. To je uskutečněno pomocí plochého světlovodu [27], který rozvede světlo ze zářivky na celou plochu displeje (**Obr. 4.4**). Některé panely s více trubici používají systém přímého podsvícení (**Obr. 4.5**), kde již není vyžadován plochý světlovod.



Obr. 4.4: Rozvod světla pomocí plochého světlovodu [26]



Obr. 4.5: Rozvod světla přímou metodou za použití více trubic[26]

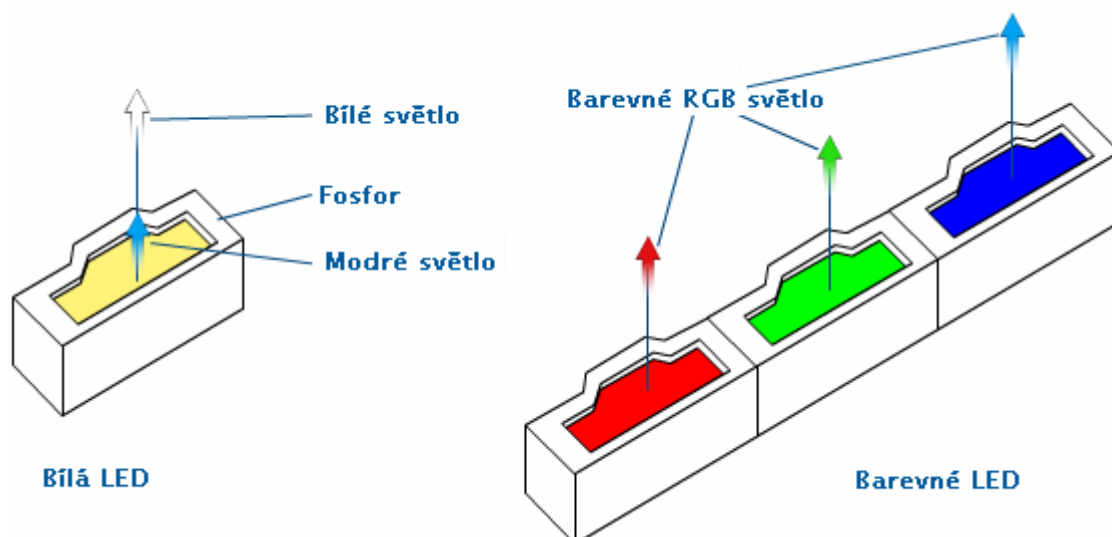
## 4.2.2 LED podsvícení

Dalším typem podsvícení, které se používá u LCD panelů, je podsvícení pomocí světlo-vyzařujících diod, které se zkráceně označují jako LED (Light-Emitting-Diode). Podsvícení bílým diodovým světlem (**Obr. 4.6**) se již několik let standardně používá pro osvětlení menších a středních LCD displejů. Ty potřebují méně místa a jsou k dispozici také v extrémně plochém provedení. Nejmenší světelné zdroje, tzv. pointLED, s válcovým tělesem tloušťky 0,8 mm je možné kompletně zapustit do desky s plošnými spoji. Co se týče intenzity světla a reprodukce barev, jsou srovnatelné se zářivkami s chladnými katodami. S energií však bílé LED nacházejí podstatně úsporněji. Až o 50 % méně energie spotřebují přístroje vybavené těmito diodami [27].

Monitory v oblasti profesionálního použití vyžadují především přesnou reprodukci barev. Zde jsou vhodné displeje vybavené diodami RGB-LED (**Obr. 4.6**): červené a zelené barvy jsou výrazně intenzivnější než se zářivkami s chladnými katodami. Barvy jsou reprodukovány správně a objevují se na monitoru přesně, jako při pozdějším tisku. Zejména při zpracování grafiky nebo fotografií je tato skutečnost velmi důležitá. RGB-LED obsahují ve společném pouzdře červený, zelený a modrý čip. Jejich velkou předností oproti LED s jednotlivými barvami je mísení barev potřebné k vytvoření bílého světla v jednom pouzdře. Uvedené tři základní barvy se smíchají v poměru 30 % červené, 60 % zelené a 10 % modré [27]. Každý čip lze nastavit samostatně, takže je možné u podsvětlení kromě bílé zobrazit všechny barvy uvnitř trojúhelníku barev. Cílená kombinace jednotlivých barev umožňuje individuální nastavení teploty barvy. Jas a barva displeje zůstávají s využitím těchto možností regulace trvale konstantní. S diodami RGB-LED je možné dosáhnout reprodukce barev v hodnotě více než 110 % standardu NTSC, kdežto LCD displeje s katodovým podsvícením se pohybují do 75% a CRT monitory až 85% standardu NTSC [25].

Diody tvoří hustou síť, a proto je, s porovnáním s fluorescenčními výbojkami se studenou katodou podsvícení velmi rovnoměrné. Použití diod má ale i jiné výhody, jako například snížená tloušťka, snížení hmotnosti, zvýšení jasu, snížení spotřeby energie a neobsahují rtuť ani halogen. Dále také ke své funkčnosti vyžadují nižší provozní napětí, což představuje další výhodou v konstrukci a bezpečnostních aspektech, protože výbojky se studenou katodou potřebují k provozu 300V, kdežto diody jen cca 3V [25]. Kromě toho LED podsvícení přispívá ke zvýšení životnosti panelu, protože je více odolné proti nárazům a vibracím.

V příloze A5 je na dvou fotografiích zachyceno LED podsvícení na 40" LCD televizi Samsung s rozlišením 1080p. Panel obsahuje 24 x 32 bílých LED diod, což je celkem 768 diod. Televize má podporu místního stmívání a tak může dosáhnout dynamického kontrastu až 1000000:1. Na první fotografii je LED podsvícení ve vypnutém stavu a na druhé fotografii v zapnutém stavu [34].



Obr. 4.6: Princip bílé a barevných RGB LED [26]

### 4.2.3 Měření homogenity podsvícení

Homogenita podsvícení se měří na bílém obrazci, který je pro lepší přehlednost rozdělen na 64 oblastí, na kterých se optickou sondou určí intenzita jasu. Naměřené hodnoty se pro lepší názornost můžou vynést do 2D grafu a to tak, že se naměřené hodnoty přepočtou na procenta, kde maximální změřená hodnota bude představovat 100% [24].

Pro vizuální kontrolu homogenity stačí při nastaveném maximálním jasu zobrazit černou, případně šedou, plochu. Pro lepší vyniknutí podsvícení je lepší provádět vizuální kontrolu v zatemněné místnosti.

## 4.3 Rovnoměrnost barevných přechodů

Barevná škála počítače je definována pojmem barevná hloubka, která udává celkový počet barev, které je počítač, společně s displejem, schopen uživateli zobrazit. Nejčastěji používanou barevnou hloubkou je True Color, který využívá 24-bitových (16,7 miliónů) barev. Další využívané barevné hloubky jsou 16-bit (65 536 barev) a 8-bit (256 barev).

Každý jednotlivý odstín barvy, z celkové palety 16,7 miliónů barev u True Color, se definuje pomocí standardu RGB. To znamená, že výsledná barva je složena z odstínů červené, zelené a modré barvy, kde jednotlivé odstíny nabývají hodnot 0-255. U LCD panelů se každý odstín RGB složky určuje pomocí natočení krystalu do jedné pozice z oněch celkových 256 úrovní pro každou barevnou složku. Tento přechod na konkrétní úroveň se nazývá doba odezvy (viz. Kapitola 5.6), která narůstá právě s větším počtem úrovní mezi pozicí zapnuto/vypnuto. Výrobci LCD displejů v honbě za co nejnižší dobou odezvy a cenou snížili počet úrovní z 256 na celkových 64 úrovní pro každou barevnou RGB složku, což má za



následek snížení doby odezvy, ale i celkový zobrazitelný počet barev. Podle počtu úrovní se displeje dělí na 8-bitové nebo 6-bitové.

### 4.3.1 8-bitové zpracování barev

Jak již bylo naznačeno výše, tak LCD displeje, které mají 8-bitové zpracování barev, dokáží zobrazit přesně 16 777 216 barev. Výsledná barva se totiž skládá kombinací barev červené, zelené a modré, kde každá má 256 odstínů, což je oněch 8 bitů. Matematicky to jde reprezentovat jako [28]:

$$2^8 \cdot 2^8 \cdot 2^8 = 256 \cdot 256 \cdot 256 = 16777216 \text{ barev}$$

### 4.3.2 6-bitové zpracování barev

Levnější displeje, jmenovitě jde většinou o TN panely, pracují pouze se 64 odstíny každé barvy, což znamená, že mají 6-bitové zpracování barev a dokáží zobrazit pouze celkem 262 144 barev. Matematický zápis bude vypadat takto [28]:

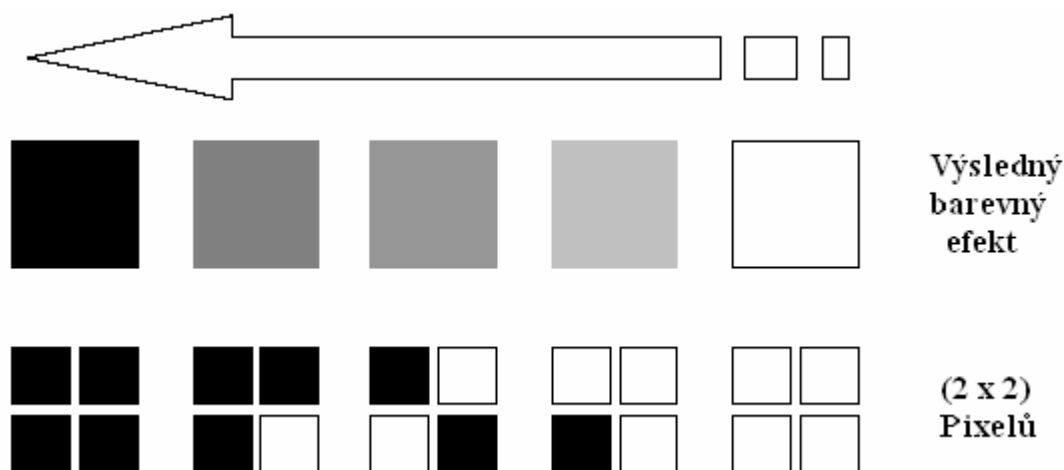
$$2^6 \cdot 2^6 \cdot 2^6 = 64 \cdot 64 \cdot 64 = 262144 \text{ barev}$$

Přesto výrobci i u těchto panelů udávají schopnost zobrazit 16 miliónů barev, protože si pomáhají trikem, kdy se vhodnou kombinací několika nejbližších barev dosáhne efektu, že vizuálně vnímáme pouze jednu barvu.

Zatímco tedy 8-bitové zobrazení pracuje s odstíny definovanými 0, 1, 2 až 255, 6-bitové zobrazení pracuje s odstíny 0, 4, 8, 12 až 252. Touto technologií tak nelze dosáhnout odstínů 253, 254 a 255 [5]. V praxi se používají dvě metody dopočítávání barev. Tou první a zároveň nepoužívanější je dithering a druhou metodou je Frame Rate Control. Výsledný počet barev zobrazovaný pomocí těchto dvou metod tak činí 16 194 277 milionů barev.

### 4.3.3 Dithering

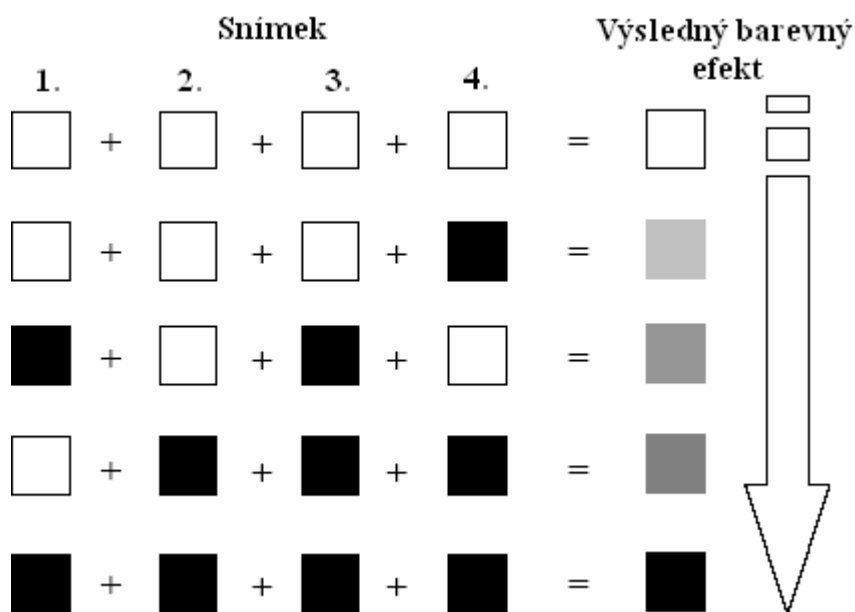
Dithering je metoda, kdy dochází k dopočítávání potřebné barvy v bloku čtyř (2x2) pixelů (**Obr. 4.7**). V případě, že je potřeba zobrazit odstín definovaný 2, tak k jeho dosažení se použijí odstíny 0 a 4, které se zobrazí střídavě v bloku čtyř pixelů. Lidský mozek smíchá barvy a výsledkem je požadovaný odstín, který je definován hodnotou 2 [29]. Na **Obr. 4.9** zachycen 13.3" displej notebooku Toshiba Satellite, na kterém je vidět dithering.



Obr. 4.7: Princip ditheringu [29]

#### 4.3.4 Frame Rate Control

Frame rate Control je metoda, kdy dochází k dopočítávání barvy vlivem poblikávání pixelu mezi dvěma barvami. Na **Obr. 4.8** je znázorněna Frame Rate Control metoda pracující se čtyřmi snímky, které dokáží na černobílém displeji zobrazit 5 barev. Pokud je rychlost blikání dostatečně rychlá, tak si lidský mozek spojí blikající barvy do jedné. U barevných displejů je stejný princip, akorát rozšířený na 3 RGB subpixely. Tuto formu dopočítávání barev dost často používají starší monitory vyrobené firmou LG [29].

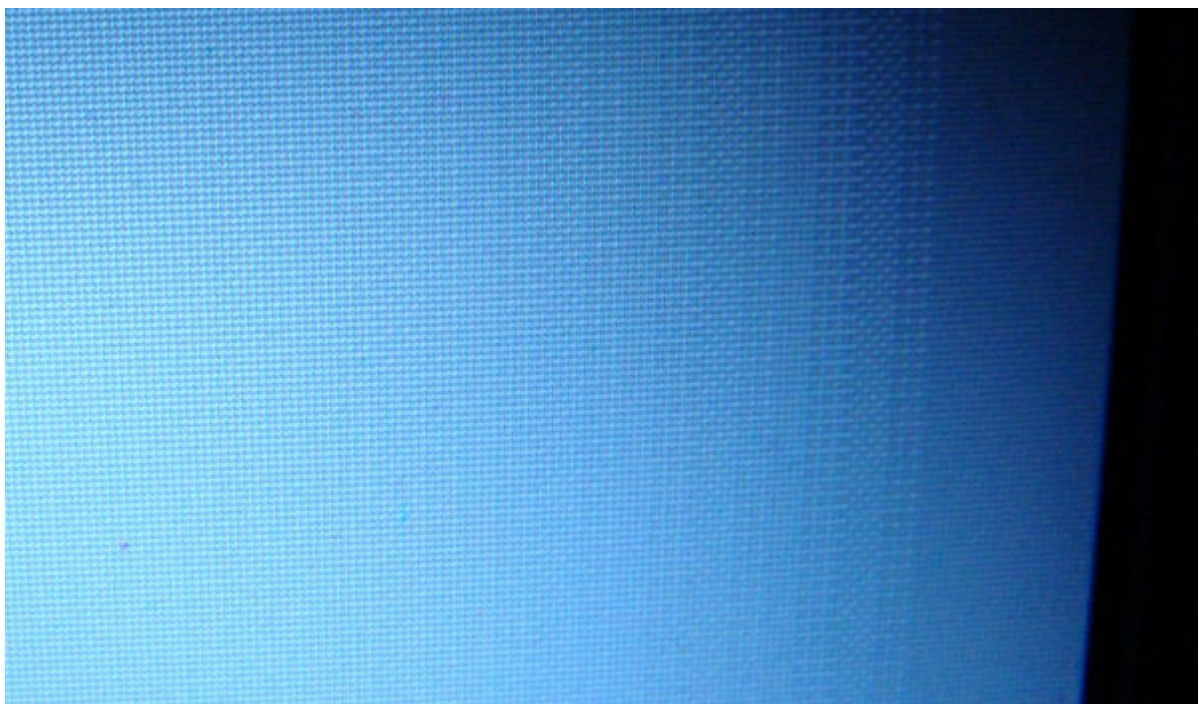


Obr. 4.8: Princip metody Frame Rate Control [29]

### 4.3.5 Testovací obrazce

Rovnoměrnost barevných přechodů se testuje pouze vizuálně na sadě různých barevných přechodů, které pozvolna přecházejí například z černé do bílé, červené do bílé atp. Jednotlivé barevné kombinace barevných přechodů jsou detailně popsány v kapitole 6.3.

Na těchto testovacích obrazcích sledujeme, jestli jsou dostatečně plynulé, případně jestli u nich nejsou viditelné výrazné skoky mezi jednotlivými odstíny barvy.



Obr. 4.9: Ukázka ditheringu na notebookovém TN displeji

## 4.4 Jas

Z hlediska lidského vidění je prakticky nejvýznamnější veličinou jas. Jas je fotometrická veličina vyjadřující množství světelného toku, který se odráží od daného elementu (nebo z něj vychází) v určitém směru k místu pozorovatele. Jednotkou jasu je kandela na čtverečný metr ( $cd / m^2$ ). U LCD panelů je možno jas regulovat pomocí dvou metod.

### 4.4.1 Regulace pomocí krystalů

Regulace jasu pomocí změny rozsahu natočení krystalů se používá jen při velmi nízkých hodnotách jasu, obvykle při hodnotách 0-20% [3] maximálního jasu. Regulace jas touto metodou je založena principu, kdy se mezní stav, při kterém krystal propouští maximum světla, posune blíže k opačnému meznímu stavu, čímž dojde ke snížení celkového počtu poloh, kterých může krystal nabývat. To má za následek dva problémy. Tím prvním je, že se

snižuje počet barev [3], které je LCD monitor schopen zobrazit. Druhý problém je, že dochází k prudkému poklesu kontrastu [3]. Pro 8-bitové panely, které pracují s 16,7 milióny barev není snížení celkového počtu zobrazitelných barev nijak tragické. Problém však může nastat u 6-bitových panelů, které pracují jen s 262 tisíci barev, kde další snižování počtu barev může představovat problém. Daleko lepší variantou se tedy jeví regulace pomocí změny intenzity podsvícení.

#### **4.4.2 Regulace změnou intenzity podsvícení**

Při regulaci intenzity podsvícení nedochází k žádné degradaci barevného podání panelu, což znamená, že stále dokáže zobrazit stejné množství barev, jako při maximálním jasu. Při použití katodového podsvícení však podsvětlovací trubice nedokážou snižovat svou svítivost plynule, například regulací napájecího napětí. Regulace pomocí pulzně šířkové modulace (PWM), což má za následek, že trubice začne poblikávat. Trubice poblikává s frekvencí od 200 do 500 Hz [3], takže subjektivně vnímaná intenzita jasu je nižší.

U LED podsvícení je možnost regulovat intenzitu jasu plynule změnou napájecího napětí diod.

#### **4.4.3 Měření jasu**

Měření jasu probíhá při zobrazení bílého pozadí a úroveň jasu by měla být nastavena na maximální hodnotu. Jelikož není podsvícení zcela rovnoměrné, tak se optickou sondou změří intenzita na několik místech panelu. Obvykle je postačující provést měření na devíti různých místech a získané hodnoty zprůměrovat.

### **4.5 Doba odezvy**

Obecně je doba odezvy definována jako čas potřebný pro změnu obrazového bodu ze zhasnutého stavu do stavu rozsvíceného a zpět. Doba odezvy se týká všech zobrazovacích technologií, ale jenom u LCD panelů dosahuje takových hodnot, že je musíme brát do úvahy. U ostatních technologií, jako jsou například CRT monitory nebo plazmové displeje, je doba odezvy natolik krátká (obvykle kolem 1ms), že to na výsledný obraz nemá žádný významný vliv.

Naopak u LCD monitorů musíme na dobu odezvy brát ohled, protože při pohyblivém obrazu může docházet vlivem vysoké doby odezvy k nepříjemnému rozostření obrazu (tzv. „Blurring“), což může působit velice rušivě. Doba odezvy proto patří mezi charakteristiky, společně s kontrastem, kterým se při výběru LCD monitoru věnuje největší pozornost, ačkoliv paradoxně jsou tyto dvě hodnoty nejvíce zavádějící a u doby odezvy to platí dvojnásob.

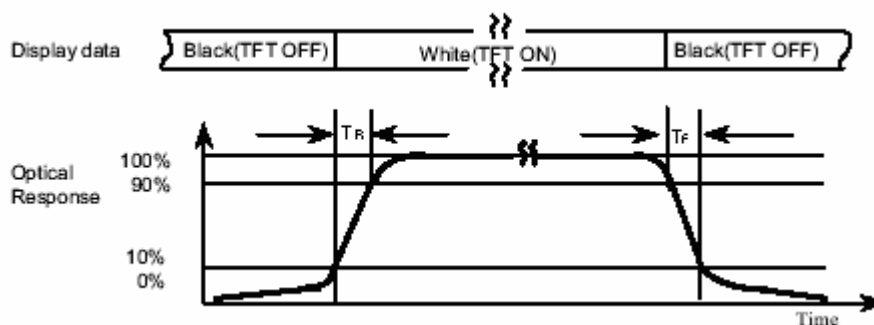
### 4.5.1 Doba odezvy u LCD monitorů

Jak již bylo řečeno, tak se u LCD panelů vlivem působení elektrického pole mění natočení tekutých krystalů a tím i velikost světla, které propustí. Tekuté krystaly jsou však poměrně viskózní věc, takže určitou dobu trvá (řádově ms až desítky ms), než se krystaly natočí do požadované polohy. Výrobci LCD panelů tak měří dobu odezvy jako čas potřebný pro změnu obrazového pixelu ze zavřeného stavu do otevřeného a zpět. Jinými slovy říkají, jak rychle se může pixel změnit z černé tečky na bílý svítící bod a opět přejít do zhasnutého stavu a změnit se tedy v černou tečku (**Obr. 4.10**). Uvažujeme-li, že 8-bitové LCD panely umožňují zobrazit až 256-ti úrovněnou škálu hodnot, pak lze výše popisovanou změnu také charakterizovat zápisem  $RGB[0-0-0] \Rightarrow RGB[255-255-255] \Rightarrow RGB[0-0-0]$  nebo zkráceně 255-0-255.

Kvůli šumu a různým dalším omezením na měřicím zařízení není v podstatě možné určit přesný okamžik, kdy pixel začne svítit, nebo moment, kdy dosahuje 100% jasu [31]. Konsorcium výrobců a vývojářů grafických karet a zobrazovacích zařízení VESA uvedlo normu [11], která vymezuje oblast měření na hodnoty od 10% do 90% a zpět od 90% do 10% (**Obr. 4.10**). Doba intervalu 10%-90% se označuje jako „Rise time“ (na Obr. 4.10 označena jako  $T_R$ ) a doba intervalu 90%-10% jako „Fall time“ (na Obr. 4.10 označena jako  $T_F$ ). Celková doba odezvy se rovná součtu těchto dvou hodnot.

Je však třeba si uvědomit dva faktory, které značně zkreslují celé měření. Prvním faktorem je asymetrie mezi dobou „Rise Time“ a „Fall Time“, kterou trpí LCD panely využívající TN matici. Ostatní typy panelů založené na maticích typu MVA, PVA nebo IPS mají tyto doby rovnocenné. Na **Obr. 4.14** je vidět, že doba nutná k rozsvícení bodu je několikrát delší než doba potřebná k jeho zhasnutí. V praxi tak lze narazit na 2 různé panely, které budou mít udávanou stejnou celkovou dobu odezvy 30ms, ale jeden panel bude mít TN matici s náběžnou hranou 25ms a sestupnou 5ms, druhý panel bude mít tyto doby rovny 15ms pro náběžnou i sestupnou hranu, což je typické pro panely MVA nebo PVA. Tento rozdíl bude mít za následek, že monitor s maticí MVA se bude zdát rychlejší, než panel s TN maticí. [31]

Druhým faktorem ovlivňujícím výsledky měření je fakt, že panely s maticí TN nebo PVA mají ve zhasací části značně nelineární charakteristiku (**Obr. 4.14**), a tak doba doběhu z 10% na 0% (Obr. 4.10) může tvořit ne desetinu, ale až polovinu doby definované jako „Fall Time“.



Obr. 4.10: Vymezení mezi „rise“ a „fall“ pro určení doby odezvy dle normy VESA [31]

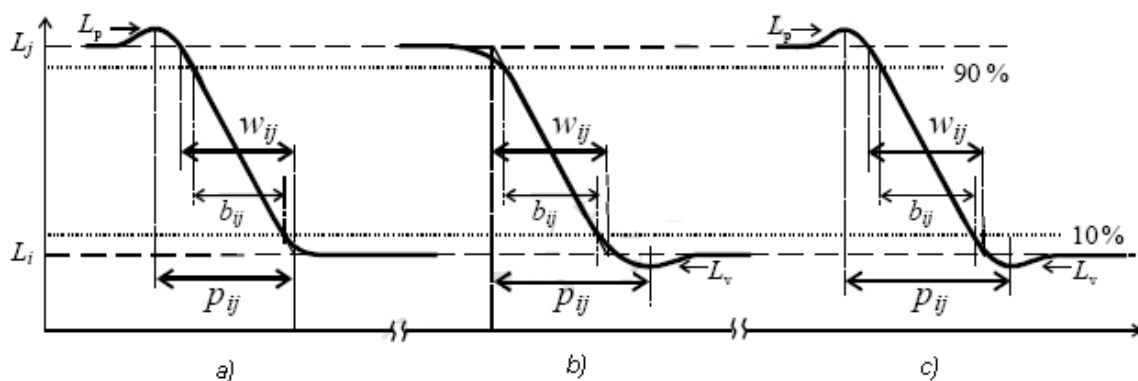
Výše zmiňovaná doba odezvy se navíc zabývá pouze speciálním případem změny stavu pixelu 255-0-255. S takovouto změnou se však setkáme výhradně v situacích, u kterých moc na době odezvy nezáleží (např. scrollování textu atp.). Z hlediska pohyblivého videa bude tedy zajímavější sledovat doby odezvy šedých bodů, které lépe ilustrují skutečnost. Tento typ odezvy bývá označován jako grey-to-grey. Je zřejmé, že obě hodnoty šedých odstínů musejí být různé a je jen na výrobcích LCD panelů jaké hodnoty odstínů zvolí.

Navíc je známo, že právě změna z plně zhasnutého bodu do plně rozsvíceného bodu a zpět je vždy nejkratší. Všechny ostatní změny jsou již časově náročnější. Ačkoliv se to může zdát paradoxní, tak rychlost změny polohy tekutého krystalu je úměrná intenzitě aplikovaného elektrického pole, takže čím menší změna otočení krystalu, tím je menší potřebné elektrické pole a tím pádem i menší rychlost změny polohy krystalu. [35] Opět platí, že modernější technologie PVA a S-IPS mají dobu odezvy 255-0-255 přibližně stejnou, jako u odezvy typu „grey to grey“, zatímco technologie typu TN má doby přechodů „grey to grey“ i několikanásobně delší. K urychlení této odezvy je nejčastěji použita technologie OverDrive.

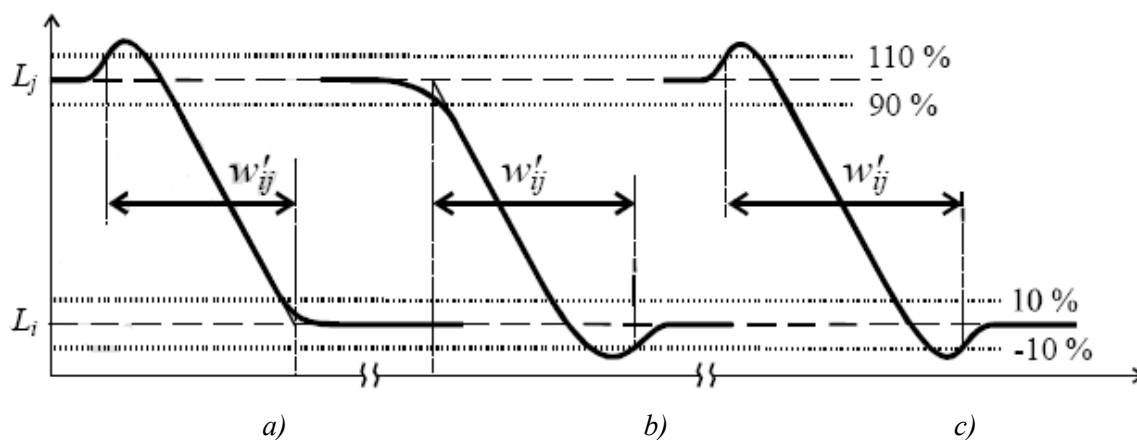
## 4.5.2 Technologie Overdrive

V praxi tato technologie pracuje následovně. Aby se krystal rychleji natočil, pustí do něj elektronika po velmi krátkou dobu výrazně vyšší napětí, než které je požadováno pro finální natočení. Poté je toto vyšší napětí sníženo na požadovanou hodnotu a pixel se buď dotočí do správné polohy, nebo se v horším případě vrátí do požadované hodnoty. Tyto překmity způsobují tzv. šum v obraze při sledování videa, her apod. (často označováno jako "video noise"). Proč tento šum vzniká? Je třeba si uvědomit, že dolní vodorovná čára označuje tmavší hodnotu pixelu a horní je naopak světlejší. Pokud dojde k překmitu, je vlastně po chvilku zobrazena světlejší barva, protože krystal propustí více světla. Vznikne tak světlý stín za pohybujícím se objektem. A protože je obraz obvykle pěkně barevný a každý pixel prochází jinou změnou, může dojít k tomu, že jen pár pixelů prodělá takovou změnu, že u nich k překmitu dojde a u okolních pixelů nikoli. Nezobrazí se tak ucelený světlý stín, ale pouze pár světlých bodů, a to je právě onen šum v obraze.

Norma VESA stanovuje, že pokud je použita technologie OverDrive resp. její modifikace (obecně označováno jako "overshoot" resp. "undershoot"), je třeba zvolit jinou metodu vyhodnocování doby odezvy. Pokud překmit nedosáhne hranice 110% nebo -10%, tak se doba odezvy vyhodnocuje podle Obr. 4.11. Pokud však překmit překročí hranici 110% nebo -10% , tak se doba odezvy vyhodnocuje podle Obr. 4.12.



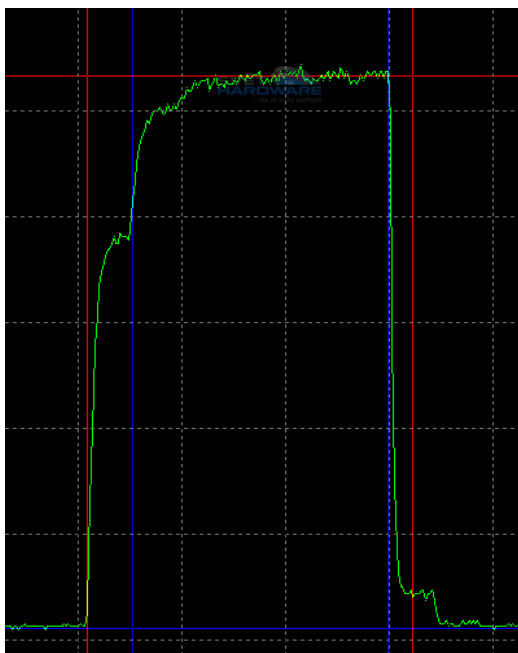
Obr. 4.11: Přechod obrazu z jasu j do jasu i a) pouze overshoot menší než 110% b) pouze undershoot menší než -10% c) overshoot 110% i undershoot -10% [11]



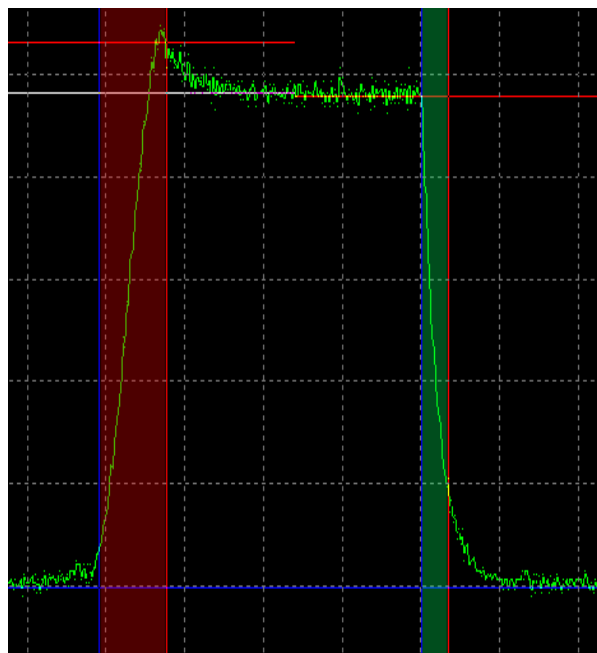
Obr. 4.12: Přechod obrazu z jasu j do jasu i a) pouze overshoot větší než 110% b) pouze undershoot menší než -10% c) overshoot 110% i undershoot -10% [11]

V poslední době se také dost často objevují "schody" v odezvě. Tento jev je opět způsoben technologií OverDrive a má za následek zhoršení kvality barev u rychlých akčních her. Oproti překmitu nezanechávají "schody" duchy za pohybujícím se objektem a mohou lehce odezvu zkrátit.

Tyto schody v odezvě vznikají tak, že technologie OverDrive se snaží přiblížit k požadované barvě. Aby se však zabránilo překmitu, ukončí se přepětí o hodně dříve. Tím se v jednom framu nastaví o něco málo jiná barva (klidně o 30 % rozdílná) a v dalším framu, tedy o 16,7 ms déle elektronika vyhodnotí, že musí nastavit barvu jinou a přenastaví tekutý krystal do požadované polohy. Tento postup se však může opakovat klidně 2× a tak vznikne schodů víc. Na **Obr. 4.13** je zobrazen typický průběh odezvy se schody. [2]



Obr. 4.13: Typický průběh odezvy se schody [32]



Obr. 4.14 Typický průběh odezvy s překmitem overdrive [2]

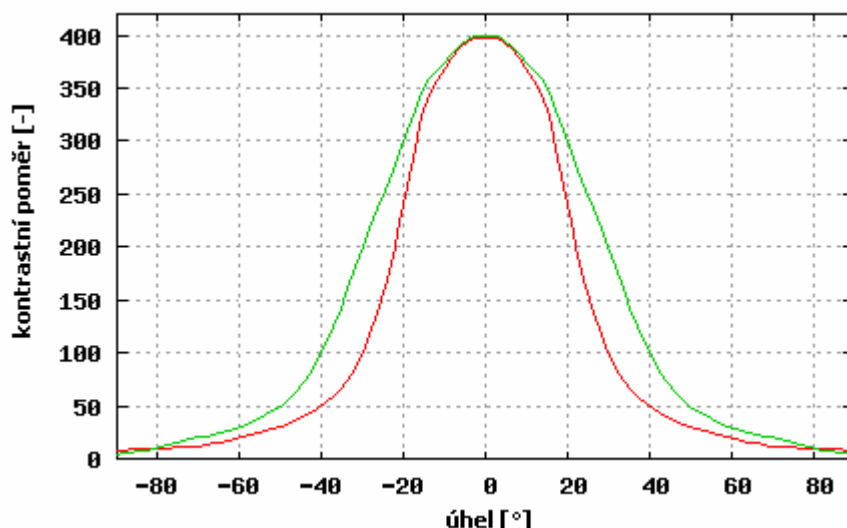
## 4.6 Pozorovací úhly

LCD panely, na rozdíl od CRT nebo plazmy, mají omezené úhly pohledu. Při rostoucím úhlu pohledu ztrácejí kontrast, začínají blednout barvy a celkově se stávají hůře čitelnými. Pozorovací úhly se udávají ve stupních a v současné době již neklesají pod hodnotu  $160^\circ$ , a to jak v horizontálním, tak i vertikálním směru. Problém však je v tom, podobně jako u doby odezvy, jak jsou tyto úhly měřeny.

Podle současné normy je pozorovací úhel definován jako odchylka od kolmice, při které kontrastní poměr ve středu panelu poklesne na 10:1. Tato definice přináší několik úskalí. Prvním úskalím je, že někteří výrobci určují pozorovací úhly při poklesu kontrastu 5:1, čímž dosáhnou větších pozorovacích úhlů, aniž by se na samotném panelu cokoli změnilo. Druhým problémem měření je fakt, že kontrastní poměr se měří ve středu obrazovky, přičemž na okraj panelu je vidět pod jiným úhlem, než ve středu panelu. Další problém je v tom, že pozorovací úhly jsou definovány pro pokles kontrastu na 10:1, což již však nic neříká, jak se kontrast mění mezi těmito dvěma body.

Graf na **Obr. 4.15** znázorňuje teoretickou závislost kontrastního poměru na úhlu pohledu pro dva různé panely. Z obrázku lze vyčíst, že oba panely dosahují maximálního kontrastu 400:1 a při poklesu kontrastu na hodnotu 10:1 mají úhel pohledu roven  $160^\circ$  ( $80^\circ$  stupňů na každou stranu). Nicméně pokud se na panel podíváme z úhlu  $40^\circ$ , tak panel znázorněný zelenou křivkou bude dosahovat kontrastu 100:1, kdežto panel znázorněný červenou křivkou bude mít při stejném úhlu pohledu kontrast o polovinu menší. Jinými slovy to znamená, že jeden uživatel panelu bude mít dvakrát větší úhly pohledu, než druhý, i když podle specifikace jsou pozorovací úhly obou panelů naprosto shodné. [31]

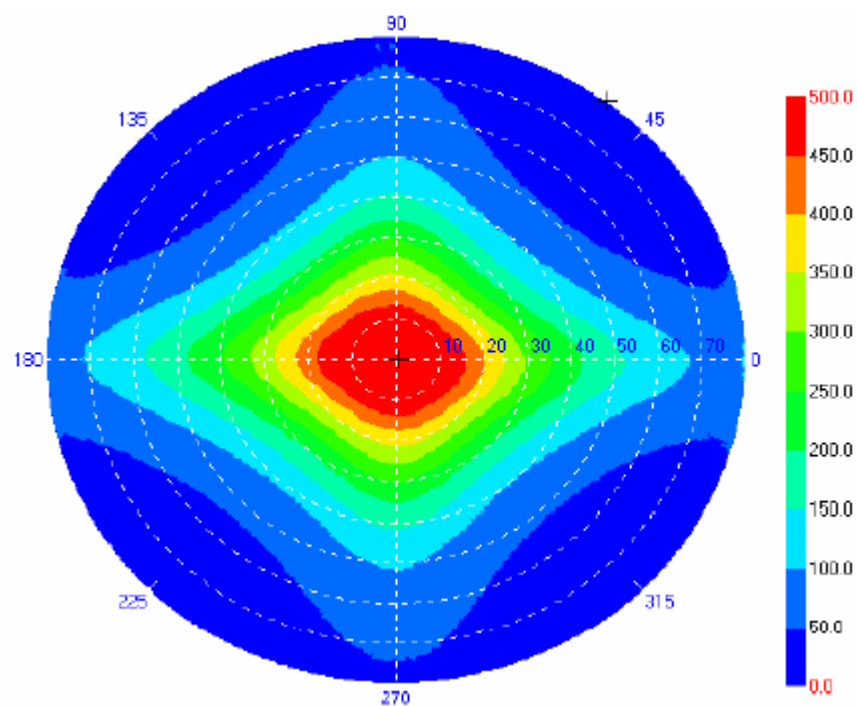




Obr. 4.15: Příklad závislosti kontrastního poměru na úhlu pohledu dvou panelů [31]

Tato metoda měření navíc nepočítá se změnou barevného podání při změně pozorovacího úhlu, takže výrobce může udávat velké pozorovací úhly, ale i při menším odklonu od kolmice pozorování může docházet k velké degradaci barevného podání, což může v jistých situacích působit velmi rušivým dojmem. V příloze A.7 lze vidět, jak se mění barevné podání a kontrast při změně pozorovacího úhlu. Ve všech tří fotografiích se jedná o 13.3" displej s TN technologií, která trpí špatnými pozorovacími úhly ve vertikální rovině. Pro porovnání jsou ke každé fotografii přiloženy příslušné testovací obrazce z programu M-tester, na kterých byly pozorovací úhly foceny. Z fotografií vyplývá, že při změně úhlu dochází k výrazné degradaci barevného podání a kontrastu, v krajním případě dochází i k inverzi barevny, kdy černá se jeví jako bílá a naopak. [31]

K určení velikosti pozorovacích úhlů se používá metoda popsaná v normě ISO 13406-2. Využívá konoskopický přijmač, což je přístroj založený na známé konoskopické metodě, která byla používána pro posuzování stavu tekutých krystalů a na konci osmdesátých let pro měření a vyhodnocování velikosti kontrastu v závislosti na směru pohledu, kdy se obraz generuje v zadní ohniskové rovině čočky objektivu [15]. Obraz je dále transformován do polárního souřadnicového systému, který je zobrazen na Obr. 4.16. Na vodorovné a svislé ose jsou úhly pohledu v horizontální a vertikální rovině. Jednotlivé hodnoty kontrastu jsou barevně odlišené.



Obr. 4.16: Závislost kontrastního poměru na úhlech pohledu v obou rovinách [31]

## 5 TESTOVACÍ OBRAZCE

V této kapitole je uvedena sada testovacích obrazců, které byly navrženy v rámci semestrálního projektu. Dále popisuje jejich funkčnost, klávesové zkratky a možnosti nastavení jednotlivých testovacích obrazců. Všechny obrazce mají jednu společnou klávesovou zkratku, kterou je klávesa „Escape“, která slouží k návratu do Windows.

Všechny testovací obrazce lze nalézt na CD, které přiloženo k bakářské práci.

### 5.1 Testovací obrazec pro měření kontrastu

Obrazec pro měření statického kontrastu vychází z normy ANSI IT7.215-1992, která definuje testovací obrazec jako 16 po sobě jdoucích obdélníků, u kterých se střídá černá a bílá barva (**Obr. 4.1**). Velikost obdélníků závisí na rozlišení LCD displeje a na jeho poměru stran, který nejčastěji bývá v poměru 4:3 nebo 16:10.

Na začátku funkce se celočíselným dělením určí rozměr obdélníku, který je závislý na rozlišení monitoru. Vykreslování obdélníku se provádí pomocí funkce „Rectangle“ za pomoci dvou cyklů. V prvním cyklu se posouvají souřadnice obdélníku po sloupcích a ve druhém cyklu, v nořeném do toho prvního, se posouvají souřadnice po řádcích, přičemž se po každém vykreslení obdélníku změní hodnota proměnné, která určuje jeho barvu. Na konci každého řádku se tato proměnná musí změnit tak, aby se na dalším řádku začínalo s opačnou barvou, než jaká je na předcházejícím řádku. U některých monitorů může nastat situace, kdy rozlišení na výšku nebude beze zbytku dělitelné čtyřmi. V tomto případě program vykreslí zbývající řádky ve stejném pořadí jako poslední řádek. Komentovaný zdrojový kód funkce je uveden v příloze A1.

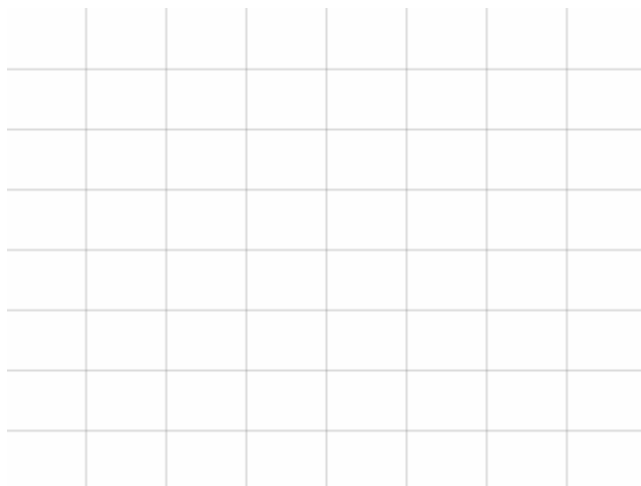
Pro určení dynamického kontrastu slouží obrazce, které přes celou plochu LCD displeje zobrazí černou a následně bílou barvu.

### 5.2 Testovací obrazec pro měření homogenity podsvícení

Obrazec pro měření homogenity podsvícení se skládá z bílé plochy, ve které je šedými linkami vymezeno 64 obdélníků (**Obr. 5.1**). Šedé linky jsou v obrazci pouze pro lepší orientaci při měření a na samotné výsledky měření nemají žádný vliv.

V programu se nejprve celočíselným dělením vypočtou rozestupy mezi jednotlivými linkami, které závisí na rozlišení monitoru. Pomocí funkce MoveTo a LineTo se potom v cyklu vykreslí linky nejdříve po sloupcích a potom po řádcích. Komentovaný zdrojový kód funkce je uveden v příloze A2.

Pro vizuální kontrolu homogenity podsvícení slouží obrazec, u kterého se dá plynule regulovat kolečkem myši úroveň černé barvy od černé do bílé (hodnoty 0-255). Úroveň aktuálně zobrazené barvy se dá skrýt nebo zobrazit klávesovou zkratkou „s“.



Obr. 5.1: Obrazec pro měření homogenity podsvícení

### 5.3 Testovací obrazce pro určení rovnoměrnosti barevných přechodů

Obrazce pro určení rovnoměrnosti barevných přechodů v ploše obsahují 8 obrazců, z čehož 7 se jich liší jen barvami. První sada obrazců obsahuje 6 rovnoměrných přechodů z barev červené, zelené a modré do černé nebo bílé a přechod černé do bílé (**Obr. 5.3**). Mezi jednotlivými přechody se přepíná klávesovými zkratkami (**Tab. 5.1**).

Tyto přechody obsahují vždy, v případě 8 bitového zpracování barev, maximálně 256 barevných odstínů. Problém však je, že žádný monitor nedisponuje takovým rozlišením, takže je potřeba takový přechod rovnoměrně roztáhnout, případně smrsknout na potřebné rozlišení. To se dělá tak, že se vezme číslo 255 a podělí se rozlišením monitoru na šířku, čímž získáme konstantu, kterou potom použijeme v cyklu, který počet opakování rovno rozlišení monitoru na šířku. V každém kroku cyklu se násobí konstanta s pozicí, ve které je právě cyklus a číslo se zaokrouhlí pomocí funkce Round na celé číslo, čímž získáme odstín barvy v rozmezí 0-255, který se vykreslí pomocí funkce FillRect.

Osmý obrazec (**Obr. 5.2**) obsahuje rovnoměrné přechody přes celou barevnou paletu. Začíná červenou barvou a pokračuje přes žlutou, zelenou, modrou a fialovou zpět do červené barvy.

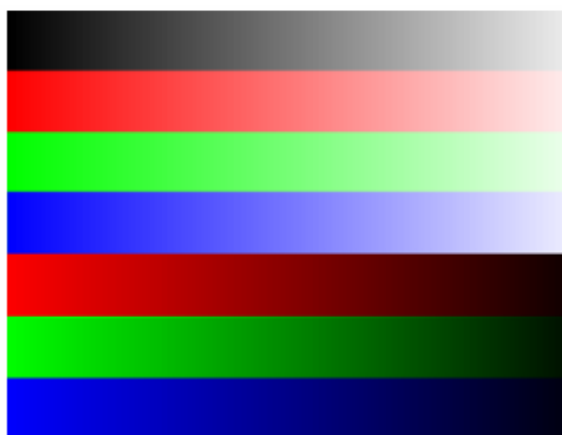
V případě vykreslení duhy je potřeba obrazovku rozdělit na 6 částí, ve kterých se budou se pak budou vykreslovat jednotlivé přechody z jedné barvy do druhé. To se provede tak, že se rozlišení monitoru na šířku celočíselně vydělí číslem 6, čímž vlastně dostaneme rozlišení jednotlivých částí. Dále již program pokračuje podobně jako v předchozím případě, akorát s tím rozdílem, že cyklu programu je potřeba ověřovat, ve které šestině obrazovky se právě nacházíme a podle toho se musí inkrementovat nebo dekrementovat správná složka barvy, která se zase násobí získanou konstantou a zaokrouhluje.

Tab. 5.1: Seznam klávesových zkratk pro barevné přechody

typ barev. přechodu	klávesová zkratka
černá > bílá	1
červená > bílá	2
zelená > bílá	3
modrá > bílá	4
červená > černá	5
zelená > černá	6
modrá > černá	7



Obr. 5.2: Obrazec pro určení rovnoměrnosti barevných přechodů - duha



Obr. 5.3: Ukázky obrazců pro určení rovnoměrnosti barevných přechodů

## 5.4 Testovací obrazce pro zjištění vadných pixelů

Sada obrazců pro zjištění přítomnosti vadných pixelů nebo subpixelů obsahuje barevné plochy, které obsahují černou, červenou, zelenou, modrou a bílou barvu.

Mezi jednotlivými barvami se přepíná pomocí kolečkem myši nebo mezerníkem na klávesnici.

## 5.5 Obrazce pro odstranění obrazové setrvačnosti

Poslední 2 navržené obrazce slouží k odstranění jevu, který se označuje jako obrazová setrvačnost. První obrazec zobrazuje střídavě bílou a černou barvu, u které se dá nastavit doba, za kterou dojde ke změně barvy plochy. Tato doba se dá plynule měnit, s krokem jedné milisekundy, kolečkem myši v intervalu 1-50ms. V levém horním rohu se zobrazuje tento časový interval, který je možno klávesovou zkratkou zobrazit nebo skrýt.

Druhý obrazec zobrazuje postupně barevné plochy z celého barevného spektra od červené do fialové. Mezerníkem na klávesnici je možné běh programu zastavit, přičemž se v levém horním rohu zobrazí hodnota aktuální zobrazené barvy ve formátu RGB. Po opětovném stisku mezerníku se znova spustí proces změny barev.

## 6 PROGRAM PRO TESTOVÁNÍ MONITORŮ

Pro pohodlné testování monitorů na uvedené vlastnosti jsou vytvářeny různé testovací programy. Obsahují testy jak pro subjektivní, tak i objektivní metody měření.

### 6.1 Program M-Tester

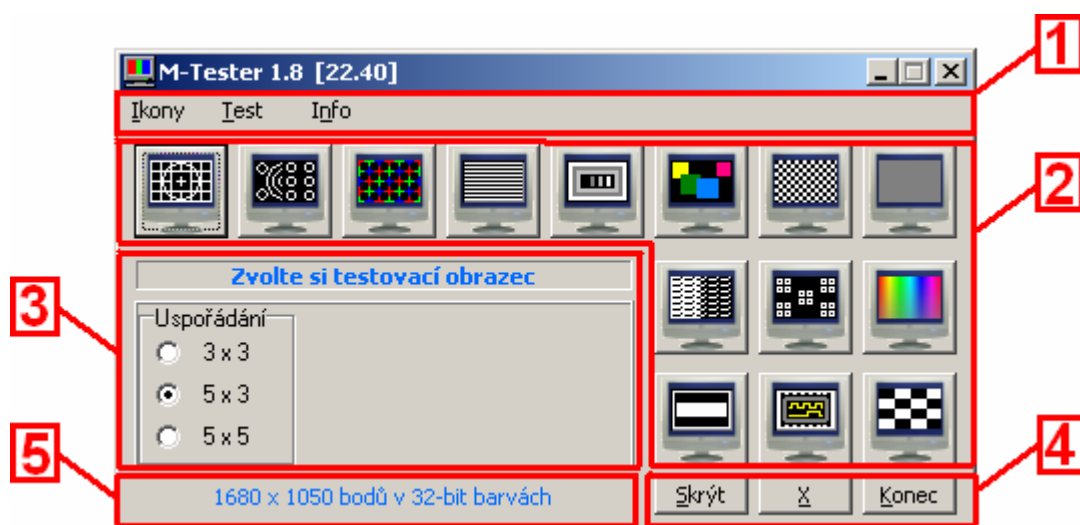
Program M-tester je vyvíjen na FEKT VUT v Brně. První verze programu vznikla v roce 1997 a pochází od Pavla Moučky. Program byl určen pro výhradně testování CRT monitorů. Masivní rozšiřování LCD monitorů si však vyžádalo doplnění programu o nové testovací obrazce. O to se v letech 2001-2007 postaral Tomáš Surotný a Jiří Indra.

Pro vývoj programu M-tester bylo zvoleno vývojové prostředí Delphi, což je integrované grafické vývojové prostředí firmy Borland určené pro tvorbu aplikací na platformě MS Windows v jazyce Object Pascal (objektové nastavbě Pascal). Díky tomu je zajištěna široká použitelnost na většině dvaatřicetibitových operačních systémech Windows.

Během vývoje byl kladen důraz na jednoduché a intuitivní ovládání. Obrazce byly navrženy tak, aby umožňovaly přesné laboratorní měření za pomoci přístrojů a zároveň orientačně otestovaly vlastnosti monitoru.

#### 6.1.1 Uživatelské rozhraní

Po spuštění programu se zobrazí hlavní uživatelské okno (Obr. 6.1), které lze rozdělit na pět hlavních oblastí. Jako výchozí obrazec po spuštění se zobrazí imitace pracovní plochy Windows.



Obr. 6.1: Ovládací panel programu M-tester

Popis částí, které jsou vyznačeny na Obr. 6.1:

### 1. Textové menu

- **Ikony**

Její volbou se zobrazí výchozí testovací obrazec – Simulace pracovní plochy. Volba je přístupná i přes klávesovou zkratku Alt + I

- **Test**

Jedná se o alternativu k jednotlivým tlačítkům na panelu (na Obr. 6.1 sekce 2). Veškeré testovací obrazce jsou zde slovně vypsané i s příslušnými klávesovými zkratkami, pomocí kterých lze obrazce snadno vyvolat.

Volba test je dostupná přes klávesovou zkratku Alt + T

- **Info**

Obsahuje odkaz na soubor nápovědy k programu a zobrazuje informace o verzi programu a jejich autorech.

### 2. Ikony s testovacími obrazci

Oblast označená číslem 2 obsahuje tlačítka pro spuštění jednotlivých testů.

### 3. Nastavení jednotlivých obrazců

V oblasti označené číslem 3 se zobrazuje název aktuálně běžícího testovacího obrazce, ke kterému se zobrazuje i nabídka s nastavením.

### 4. Ovládací tlačítka

- **Tlačítko Skrýt**

Skryje ovládací panel programu, tak aby testovací obrazec zůstal zobrazen přes celou obrazovku. Ovládací panel lze skrýt i kliknutím myši kamkoliv do plochy testovacího obrazce. Po opětovném kliknutí myši se zase zobrazí ovládací panel.

Funkci lze vyvolat klávesovou zkratkou Alt + S

- **Tlačítko X**

Skryje nebo zobrazí testovací obrazec, přičemž testovací panel zůstává viditelný. Při skrytém testovacím obrazci se tlačítko skrýt stane neaktivním.

Funkce je dostupná přes klávesovou zkratku Alt + X

- **Tlačítko Konec**

Ukončí aplikaci.

Ukončit aplikaci je možno přes klávesovou zkratku Alt + K nebo Alt + F4.

### 5. Informační oblast

Zobrazuje informaci o nastavením rozlišení a počtu barev zobrazovacího adaptéru.



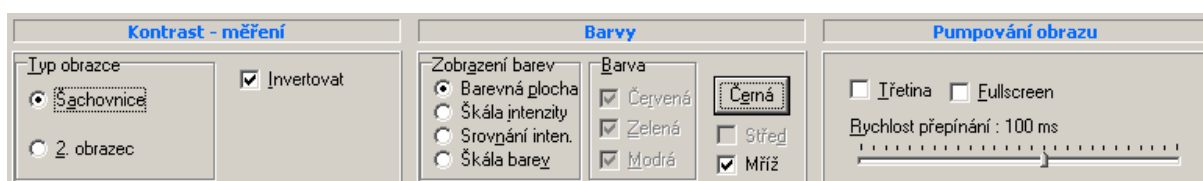
## 6.2 Změny provedené v programu M-tester

Z navržených testovacích obrazců, které jsou popsány v kapitole 5, byly vybrány některé obrazce pro začlenění do stávajícího univerzálního programu M-tester, jehož poslední verze je za svou dlouhou dobu vývoje již poměrně odladěná a obsahuje většinu důležitých testovacích obrazců jak pro LCD monitory, tak i pro starší CRT monitory.

### 6.2.1 Aktualizace sady testovacích obrazců

Do programu byly přidány dva nové testovací obrazce. Prvním přidaným obrazcem je obrazec pro měření kontrastu, který je podrobně popsán v kapitole 5.1 a zobrazen na **Obr. 4.1**. Původní program už jeden obrazec pro měření kontrastu obsahoval, takže do programu byla přidána možnost výběru mezi dvěma obrazci (Obr. 6.2). Navíc došlo ke změně ikony s výběrem testovacího obrazce, protože nová ikona lépe vystihuje svoji funkci. Nakonec byla do nastavení přidána možnost invertovat barvy na obrazcích.

Druhým přidaným testovacím obrazcem je obrazec pro měření homogenity podsvícení, který je podrobně popsán v kapitole 5.2 a zobrazen na **Obr. 5.1**. Obrazec je dostupný ve formě „CheckBoxu“ s názvem „Mříž“ (Obr. 6.2), které se nachází v nastavení testu s názvem Barvy. Pomocí interaktivního tlačítka Černá/Bílá lze měnit barevný podklad obrazce mezi bílou a černou barvou.



Obr. 6.2: Ukázka možnosti nastavení vybraných testovacích obrazců (zleva): Kontrast, Barvy a Pumpování obrazu

U obrazce s názvem Pumpování obrazu došlo k rozšíření doby mezi změnou černé a bílé barvy z původního intervalu 100-1300ms na 6-1200ms a zároveň byla přidána možnost nechat problikávat celou obrazovku (Obr. 6.2), díky čemuž je nyní možné testovací obrazec použít i na odstranění obrazové setrvačnosti, která je popsána v kapitole 3.5.

Nakonec se podařilo odstranit jeden nepříjemný jev u testovacího obrazce s názvem Šedá plocha. Původní autor použil pro vykreslení šedé plochy grafickou funkci Rectangle s níž vykresloval obdélník z bodu [0,0] do bodu [šířka\_obrazu,výška\_obrazu]. To mělo za následek, že při změně úrovně šedé barvy docházelo k jevu, který vypadal, jako kdyby se obrazec trhal. K odstranění tohoto jevu stačilo změnit způsob změny odstínu šedé barvy, takže původní funkce Rectangle byla odstraněna a nyní dochází ke změně barvy pozadí komponenty ObrForm.

## 6.2.2 Další úpravy

V programu se celkem hojně využívá programové komponenty označované jako „TrackBar“. Jedná se o posuvného jezdce, který má jasně definovaný rozsah nastavitelných hodnot a velikost kroku, po kterém se tyto hodnoty můžou měnit. Ke změně těchto parametrů je možné využít kolečka myši. V původní verzi programu však změna hodnot a ani směr jezdce neodpovídal směru otáčení kolečka myši. Docházelo tedy k situaci, kdy točením kolečkem na myši směrem k uživateli (jakoby dolů) se hodnoty nastavení zvětšovaly a v případě vertikálního „TrackBaru“ se jezdec posunoval směrem nahoru. U horizontálního „TrackBaru“ se jezdec pohyboval směrem doprava, což vzhledem k již zaběhnutým způsobům, působilo často matoucím dojmem. V celém programu tedy došlo u všech „TrackBarů“ ke změně tak, aby se změny parametru i směr posuvu jezdce odpovídaly smyslu otáčení kolečkem myši.

Dalším provedenou změnou je úprava chování kurzoru při skrývání a zobrazování ovládacího panelu programu. V původní verzi zůstával kurzor myši po skrytí ovládacího panelu zobrazen. K dočasnému odstranění z plochy bylo potřeba během skrývání panelu držet klávesu Shift. Kurzor myši však často působí rušivě a v případě laboratorního měření by mohl být původcem nepřesností. Z těchto důvodů tedy byla zvolena varianta, kdy se kurzor myši automaticky skrývá společně s ovládacím panelem. V případě potřeby je možné kurzor myši ponechat zobrazený pomocí klávesy Shift.

Všechny původní schopnosti aplikace zůstaly zachovány v nezměněné formě.

## 7 MĚŘENÍ

Tato kapitola si klade za cíl otestovat si postupy měření některých parametrů LCD panelu a výsledky porovnat s katalogovými hodnotami výrobců. K měření dvou vybraných LCD panelů byly použity navržené obrazce pro testování homogenity podsvícení (Obr. 5.1) a pro určení statického kontrastu byl použit obrazec šachovnice (Obr. 4.1). Oba obrazce byly implementovány do univerzálního testovacího programu M-tester. První testovaný LCD panel od firmy Philips 200WP7ES řadí mezi kvalitnější LCD panely. Druhým testovaným LCD panel je levný monitor od firmy LG s modelovým označením L206W.

### 7.1 Philips 200WP7ES

LCD panel disponuje kvalitním LCD maticí firmy AU Optronix, která je založena technologií MVA.

#### 7.1.1 Vlastnosti udávané výrobcem

Výrobce panelu udává tyto parametry:

- Jas: 300 cd/m<sup>2</sup>
- Kontrastní poměr (typický): 1000:1
- Úhly pohledu: 178° (H) / 178° (V) při C/R > 10
- Doba odezvy (typická): 8ms (grey to grey - průměr) / 16ms (full on/off)
- Počet barev: 16,7M (RGB 8-bit data)

Výrobci Philips v podstatě u takto podrobně udaných parametrů nelze nic vytknout. Výrobce uvádí, že pozorovací úhly byly měřeny pro pokles kontrastu na hodnotu 10:1, u doby odezvy uvádí, že v případě odezvy „grey to grey“ se jedná o průměrnou hodnotu součtu náběžné hrany „rise“ a sestupné hrany „false“.

#### 7.1.2 Měření statického kontrastu

Měření statického kontrastu se provádělo pro dvě různé nastavení kontrastu v menu monitoru. První měření se provádělo pro kontrast nastavený na hodnotu 50%, což je hodnota, při které je monitor používán. Druhé měření se provádělo pro 100% hodnotu kontrastu. Veškerá měření kontrastu probíhala dle postupu uvedených v kapitole 4.1.

Měření se provádělo při nastavených parametrech LCD panelu:

- Jas: 100%
- Kontrast: 50%
- Teplota barev: 6500K

Tab. 7.1: Naměřené hodnoty jasu pro černé a bílé obdélníky ze šachovnicového testovacího obrazce

černá [cd/m <sup>2</sup> ]	1,30	1,16	1,23	1,17	1,24	1,34	1,2	1,30
bílá [cd/m <sup>2</sup> ]	159	168	171	184	181	176	178	164

$$L = \frac{\sum \text{černá}}{8} = \frac{9,94}{8} = 1,2425 \text{cd/m}^2 \quad (1)$$

$$L = \frac{\sum \text{bílá}}{8} = \frac{1381}{8} = 172,625 \text{cd/m}^2 \quad (2)$$

$$\text{CR} = \frac{172,625}{1,2425} = 138 : 1 \quad (3)$$

Druhé měření se provádělo při nastavených parametrech LCD panelu:

- Jas: 100%
- Kontrast: 100%
- Teplota barev: 6500K

Tab. 7.2: Naměřené hodnoty jasu pro černé a bílé obdélníky ze šachovnicového testovacího obrazce

černá [nt]	1,31	1,17	1,22	1,17	1,24	1,34	1,19	1,30
bílá [nt]	170	178	179	193	191	185	187	184

$$L = \frac{\sum \text{černá}}{8} = \frac{9,94}{8} = 1,2425 \text{cd/m}^2 \quad (4)$$

$$L = \frac{\sum \text{bílá}}{8} = \frac{1381}{8} = 183,375 \text{cd/m}^2 \quad (5)$$

$$\text{CR} = \frac{183,375}{1,2425} = 147 : 1 \quad (6)$$

### 7.1.3 Měření dynamického (maximálního) kontrastu

Hodnota pro bílý podklad byla měřena při nastavení:

- Kontrast: 100%
- Jas: 100%

Změřená úroveň jasu: 207 cd/m<sup>2</sup>

Hodnota pro černý podklad byla měřena při nastavení:

- Kontrast: 0%
- Jas: 0%

Změřená úroveň jasu: 0,55 cd/m<sup>2</sup>

$$CR = \frac{207}{0,55} = 376,364 : 1 \quad (7)$$

Výsledný dynamický (maximální) kontrast LCD monitoru Philips 200WP7ES je 376:1

### 7.1.4 Homogenita podsvícení

Veškerá měření kontrastu probíhala dle postupu uvedených v kapitole 4.2.

Měření bylo prováděno při nastavení:

- Jas: 100%
- Kontrast: 50%

Tab. 7.3: Naměřené hodnoty jasu pro jednotlivé části obrazovky (všechny hodnoty jsou v  $[\text{cd/m}^2]$ ):

Pozice	1	2	3	4	5	6	7	8
S8	168	158	154	162	164	159	160	174
S7	171	174	178	181	183	182	182	177
S6	175	178	187	193	194	190	186	178
S5	180	179	189	201	203	192	185	183
S4	181	179	187	201	202	193	186	185
S3	180	181	189	194	196	192	189	184
S2	179	180	181	182	184	185	187	183
S1	180	170	163	171	169	170	176	186

Minimální hodnota jasu činí:  $154 \text{ cd/m}^2$

Maximální hodnota jasu činí:  $203 \text{ cd/m}^2$

Podle hodnot naměřených v **Tab. 7.3** se sestavily dva grafy, které jsou přiložené v příloze A8.

### 7.1.5 Stabilita kontrastu

Měření probíhalo tak, že se v menu monitoru postupně zvětšoval jas z 0% až do 100%. Velikost kroku byla +10% a pro každou hodnotu se na obrazci pro měření statického kontrastu (Obr. 4.1) změřily úrovně jasu každého čtverce. Podle známého postupu se určil kontrast, který se dále přepočítal na procenta.

Tab. 7.4: Naměřené hodnoty jasu pro bílé a černé obrazce při postupném zvyšování jasu z 0 na 100%:

Jas [%]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
bílá $[\text{cd/m}^2]$	110	110	113	118	126	139	155	170	183	193	205
černá $[\text{cd/m}^2]$	0,7	0,7	0,7	0,74	0,79	0,86	0,99	1,1	1,19	1,26	1,34
kontrast [-]	157,1	157,1	161,4	159,5	159,5	161,6	156,6	154,5	153,8	153,2	153,0
kontrast [%]	97,24	97,24	99,89	98,68	98,70	100	96,88	95,63	95,16	94,79	94,67

Podle hodnot naměřených v **Tab. 7.4** se sestavily dva grafy, které jsou přiložené v příloze A.10 a A.11.

## 7.2 LG L206WTQ

Jedná se o panel typu TN od firmy LG Electronics.

### 7.2.1 Vlastnosti udávané výrobcem

Výrobce panelu udává tyto parametry:

- Jas: 300 cd/m<sup>2</sup>
- Kontrastní poměr (DFC): 5000:1
- Úhly pohledu: 170° (H) / 170° (V)
- Doba odezvy (typická): 2ms (grey to grey)
- Počet barev: 16,7M (RGB 8-bit data)

Z parametrů, které uvádí výrobce LG na svých internetových stránkách nelze zjistit, jestli uváděný kontrast je dynamický (maximální) nebo statický. Podle takto vysoké hodnoty se dá předpokládat, že se jedná o dynamický kontrast.

Stejně tak i u velikostí úhlu pohledu není uvedeno, zdali byly úhly měřeny pro pokles kontrastu 10:1 nebo 5:1. Logickou úvahou ale můžeme usoudit, že šlo o měření při poklesu kontrastu na hodnotu 5:1, protože se jedná o TN panel, u kterého takto vysoké hodnoty pozorovacích úhlů nejsou obvyklé.

V případě doby odezvy výrobce uvádí, že se jedná o odezvy typu „grey to grey“, ale již chybí údaj, jestli jde průměrnou nebo minimální hodnotu.

### 7.2.2 Měření statického kontrastu

Měření se provádělo při nastavených parametrech LCD panelu:

- Jas: 100%
- Kontrast: 100%

Tab. 7.5: Naměřené hodnoty jasu pro černé a bílé obdélníky ze šachovnicového testovacího obrazce

černá [nt]	1,36	1,44	1,31	1,22	1,2	1,31	1,46	1,29
bílá [nt]	316	297	282	326	321	290	291	302

$$L = \frac{\sum \text{černá}}{8} = \frac{10,59}{8} = 1,3238 \text{ cd} / \text{m}^2 \quad (9)$$

$$L = \frac{\sum \text{bílá}}{8} = \frac{2425}{8} = 303,125 \text{ cd} / \text{m}^2 \quad (10)$$

$$\text{CR} = \frac{303,125}{1,3238} = 229 : 1 \quad (11)$$

### 7.2.3 Měření dynamického (maximálního) kontrastu

Hodnota pro černou barvu byla měřena při nastavení:

- Kontrast: 100%
- Jas: 100%

Změřená úroveň jasu je  $327 \text{ cd} / \text{m}^2$

Hodnota pro černou barvu byla měřena při nastavení:

- Kontrast: 0%
- Jas: 0%

Změřená úroveň jasu:  $0,55 \text{ cd} / \text{m}^2$

$$\text{CR} = \frac{327}{0,55} = 595 : 1 \quad (12)$$

Výsledný dynamický (maximální) kontrast LCD monitoru LG L206W je 595:1

### 7.2.4 Homogenita podsvícení

Měření bylo prováděno při nastavení:

- Jas: 100%
- Kontrast: 100%



Tab. 7.6: Naměřené hodnoty jasu pro jednotlivé části obrazovky (všechny hodnoty jsou v  $[cd/m^2]$ ):

Pozice	1	2	3	4	5	6	7	8
S8	281	275	281	284	290	286	276	280
S7	287	302	317	323	315	311	300	288
S6	274	296	314	319	321	315	297	274
S5	270	294	315	322	324	318	299	278
S4	268	293	314	323	324	318	300	279
S3	273	296	314	319	318	315	301	278
S2	279	295	311	315	307	302	293	279
S1	284	289	292	295	292	289	284	284

Minimální hodnota jasu činí:  $268 cd/m^2$

Maximální hodnota jasu činí:  $324 cd/m^2$

Podle hodnot naměřených v **Tab. 7.6** se sestavily dva grafy, které jsou přiložené v příloze A.9.

## 7.3 Shrnutí

První z měřených monitorů Philips 200WP7ES má výrobcem uváděný statický kontrast 1000:1 a jas  $300cd/m^2$ . Měřením byla určena hodnota statického kontrastu 147:1 a dynamický kontrast dosáhl na hodnotu 376:1, což se zdaleka ani neblíží k hodnotám uváděných výrobcem. Maximální změřená hodnota jasu byla  $207cd/m^2$ , což je také méně než uvádí výrobce.

Druhý z měřených panelů LG 206WTQ má výrobcem udávaný dynamický kontrast 5000:1 a jas  $300cd/m^2$ . Měřením byly získány hodnoty statického kontrastu 229:1 a dynamického 595:1 při maximálním změřeném jasu  $327cd/m^2$ , což je více než uvádí výrobce.

U obou monitorů byl měřením určen mnohem menší kontrast, než jaký uvádí výrobce. Za tento velký rozdíl mezi udávanou a změřenou hodnotou může hlavně rozdíl mezi měřením výrobce a měřením v domácích podmínkách. Výrobci jsou schopni změřit jas na jednom jediném pixelu, kdežto měřicí sonda, která byla použita při tomto měření zabírala oblast o průměru cca 1cm. Díky tomu výrobci dokážou změřit menší hodnotu minimálního, kdy jas menší jen o pár desetin dokáže zvětšit kontrastní poměr řádově o stovky. Pokud jsme ve výpočtu (12) dosáhli kontrastu 595:1, tak snížením hodnoty minimálního jasu z  $0,55 cd/m^2$  na  $0,2 cd/m^2$  dosáhneme skoro trojnásobného kontrastu, přičemž takto malá změna jasu je pro lidské oko prakticky nepostřehnutelná.

V případě homogenity podsvícení jsou na tom oba LCD panely podobně. U obou dochází na okrajích k poklesu jasu. K porovnání s grafem v příloze A.8 je v příloze A.6 fotografie podsvícení LCD panelu Philips. U panelu Philips byla ještě navíc změřena závislost změřeného jasu na nastavení jasu v menu monitoru Philips a stabilita kontrastu při změně nastavení jasu v menu monitoru. Z grafu v příloze A.10 vyplývá, že regulace jasu má v rozmezí nastavení 40%-100% jasu lineární průběh. Pro hodnoty menší než 40% jasu již pokles mírně stagnuje. Kontrast je u tohoto monitoru stabilní (viz. graf v příloze A11).

## 8 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo seznámit se s technologií LCD panelů a navrhnout sadu testovacích obrazců. Úvod jsem se věnoval objevení samotných tekutých krystalů, které jsou základem každého LCD monitoru. V další kapitole jsem rozebral základní princip LCD monitorů a u třech hlavních typů panelů jsem popsal jejich princip, specifické vlastnosti a parametry, jako například kontrast, dobu odezvy a pozorovací úhly. V kapitole věnované vzniku chyb v obraze jsem se věnoval nejčastějším chybám v obraze a dospěl jsem k závěru, že většina chyb, která může u LCD panelů vznikat je neopravitelná. Konkrétně se jedná o chyby typu vadné pixely, čárová vada nebo chyby projevující se jako tmavá skvrna.

Další kapitola byla věnována problematice testování kvality obrazu, vlivům a použitým technologiím, které mají vliv na výslednou kvalitu obrazu. Podle toho jsem navrhl sadu testovacích obrazců, které jsem prakticky realizoval ve vývojovém prostředí Borland Delphi. Z této sady obrazců se potom vybraly obrazce pro měření homogenity podsvícení a kontrastu, které jsem začlenil do univerzálního programu pro testování monitorů.

Na závěr jsem na dvou vybraných LCD monitorech provedl, za pomoci optické sondy, měření kontrastu a homogenity podsvícení. Díky tomu jsem si ověřil postupy měření uvedené v 5. kapitole a zároveň jsem otestoval navržené testovací obrazce. Z měření vyplynulo, že není vhodné se při výběru LCD panelu zaměřovat jen na katalogové údaje výrobců, ale pokud možno si před jeho koupí panel prohlédnout osobně.

Poznatky získané touto prací považuji za velmi cenné, protože LCD panely, jakožto zobrazovací zařízení, pro mě představují jednu z nejdůležitějších součástí počítače, protože jsou využívány prakticky při veškeré práci na počítači. Proto je potřeba výběru LCD panelu věnovat velkou pozornost.

# ABECEDNÍ SEZNAM ZKRATEK

ANSI	American National Standards Institute
BLU	Back Light Unit
B-TN	Bistable Twisted Nematic
CCFL	Cold Cathode Fluorescent Lamp
CR	Contrast Ratio
CRT	Cathode Ray Tube
DC	Dynamic Kontrast
DD-IPS	Dual Domain IPS
DFC	Digital Fine Contrast
FRC	Frame Rate Control
IBM	International Business Machines
IPS	In-Plane Switching
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light-Emitting-Diode
MVA	Multi-Domain Vertical Alignment
NTSC	National Television System(s) Committee
PVA	Patterned Vertical Alignment
RCA	Radio Corporation of America)
RGB	RED, GREEN, BLUE
RRE	Royal Radar Establishment
S-IPS	Super-IPS
S-MVA	Super Multi Domain Vertical Alignment
TFT	Thin-Film Transistor
TN	Twisted Nematic
VA	Vertical Alignment
VESA	Video Electronics Standards Association

# SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOVÁČ, Pavel. Tekuté krystaly - Jak to všechno začalo?. Svět hardware [online]. 2005 [cit. 2007-04-30]. Dostupný z WWW: <[http://www.svethardware.cz/art\\_doc-FDF21C4AC209B3EDC1257045002C86E3.html](http://www.svethardware.cz/art_doc-FDF21C4AC209B3EDC1257045002C86E3.html)>. ISSN 1213-0818.
- [2] KOVÁČ, Pavel. Technologie LCD panelů - update. Svět hardware [online]. 2006 [cit. 2007-04-30]. Dostupný z WWW: <[http://www.svethardware.cz/art\\_doc-59B0B21624FBA168C12571BD002A0891.html](http://www.svethardware.cz/art_doc-59B0B21624FBA168C12571BD002A0891.html)>. ISSN 1213-0818.
- [3] KOVÁČ, Pavel. Nová metodika měření LCD a problematika jasů. Svět hardware [online]. 2006 [cit. 2007-04-30]. Dostupný z WWW: <[http://www.svethardware.cz/art\\_doc-FFDE31F6E2022FEFC125714E006939B6.html](http://www.svethardware.cz/art_doc-FFDE31F6E2022FEFC125714E006939B6.html)>. ISSN 1213-0818.
- [4] KABÁT, Zdeněk. Technologie: TFT LCD displeje. Svět hardware [online]. 2003 [cit. 2007-04-30]. Dostupný z WWW: <[http://www.svethardware.cz/art\\_doc-72E593AEF388EE8BC1256CE700442B8D.html](http://www.svethardware.cz/art_doc-72E593AEF388EE8BC1256CE700442B8D.html)>. ISSN 1213-0818.
- [5] JIRÁSKO, Tomáš. Technologie TFT LCD. PC World [online]. 2005 [cit. 2007-04-30]. Dostupný z WWW: <[http://www.gljs.sk/~sjiricek/inf/pcworld/tft\\_lcd.html](http://www.gljs.sk/~sjiricek/inf/pcworld/tft_lcd.html)>.
- [6] KWOLEK, Jirka. Průvodce plochými panely: TN, IPS, MVA, který je lepší?. Pctuning.cz [online]. 2005 [cit. 2007-04-29]. Dostupný z WWW: <[http://pctuning.tyden.cz/index.php?option=com\\_content&task=view&id=4509&Itemid=47](http://pctuning.tyden.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=4509&Itemid=47)>. ISSN 1214-0201.
- [7] KWOLEK, Jirka. 3x LCD: technologie TN, S-IPS a MVA v praxi. Pctuning.cz [online]. 2005 [cit. 2007-04-29]. Dostupný z WWW: <[http://www.pctuning.cz/3x\\_lcd-technologie\\_tn\\_s-ips\\_a\\_mva\\_v\\_praxi.html](http://www.pctuning.cz/3x_lcd-technologie_tn_s-ips_a_mva_v_praxi.html)>. ISSN 1214-0201.
- [8] ALZIEU, Vincent. LCD screens dead pixels. BeHardware [online]. 2005 [cit. 2007-04-29]. Dostupný z WWW: <<http://www.behardware.com/articles/519-1/lcd-screens-dead-pixels.html>>.
- [9] History of Liquid Crystals. Liquid Crystal Institute [online]. 2000 [cit. 2007-04-29]. Dostupný z WWW: <[http://www.lci.kent.edu/lc\\_history.html](http://www.lci.kent.edu/lc_history.html)>.
- [10] Liquid crystal display. Wikipedia [online]. 2007 [cit. 2007-04-29]. Dostupný z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/LCD>>.
- [11] Flat Panel Display Measurements. VESA Standards Summaries [online]. 2005 [cit. 2007-04-29]. Dostupný z WWW: <[http://www.vesa.org/Standards/summary/2005\\_5.htm](http://www.vesa.org/Standards/summary/2005_5.htm)>.
- [12] E. TANNAS, Lawrence, et al. DISPLAY TECHNOLOGIES IN JAPAN. The World Technology Evaluation Center, Inc. 1992 [cit. 2007-04-29]. Dostupný z WWW: <[http://www.wtec.org/loyola/dsply\\_jp/toc.htm](http://www.wtec.org/loyola/dsply_jp/toc.htm)>.
- [13] DOLEJŠ, Martin. Technologie LCD panelů v kostce. Grafika on-line [online]. 2005 [cit. 2007-04-29]. Dostupný z WWW: <<http://www.grafika.cz/art/hw/LCD-technologie-v-kostce.html>>. ISSN 1212-9569.
- [14] The Growing World of LCDs. Sharp world [online]. 2003 [cit. 2007-04-29]. Dostupný z WWW: <[http://sharp-world.com/sc/library/lcd\\_e/index\\_1e.htm](http://sharp-world.com/sc/library/lcd_e/index_1e.htm)>.
- [15] An Explanation of LCD Viewing Angle [online]. [2000] [cit. 2007-05-10]. Dostupný z WWW: <[http://www.monolithic.com/esp/Notas/def\\_angulos\\_vision.pdf](http://www.monolithic.com/esp/Notas/def_angulos_vision.pdf)>.

- [16] E. A. SALEH, Bahaa, KANGHUA, Lu. The Fourier scope: An optical instrument for measuring LCD viewing-angle characteristics [online]. 1996 , 1/12/96 [cit. 2007-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=JSIDE8000004000001000033000001&idtype=cvips&gifs=yes>>.
- [17] KYRNIN, Mark. LCD Image Persistence. About.com: PC Hardware / Reviews [online]. 2005 [cit. 2009-01-02]. Dostupný z WWW: <<http://compreviews.about.com/od/monitors/a/LCDBurnIn.htm>>.
- [18] Recommendations for reducing image persistence on large-screen LCDs. NEC Whitepaper [online]. 2005 [cit. 2009-01-02]. Dostupný z WWW: <[http://www.plasma-usa.com/screen%20burn/White\\_Paper\\_onscreenburn\\_NEC.pdf](http://www.plasma-usa.com/screen%20burn/White_Paper_onscreenburn_NEC.pdf)>.
- [19] Image persistence: LCD monitors. Mitsubishi Electric: Presentation product [online]. 2005 [cit. 2009-01-02]. Dostupný z WWW: <[http://www.mitsubishi-presentations.com/pdf/MIT\\_MDTLCD\\_IMAGE\\_PERSISTENCE.pdf](http://www.mitsubishi-presentations.com/pdf/MIT_MDTLCD_IMAGE_PERSISTENCE.pdf)>.
- [20] Pixels and Image Sticking. Tyco Electronics technical support [online]. 2008 [cit. 2009-01-02]. Dostupný z WWW: <[http://www.elotouch.com/Support/TechnicalSupport/pixels\\_image.asp](http://www.elotouch.com/Support/TechnicalSupport/pixels_image.asp)>.
- [21] KUSAFUKA, K., SHIMIZU, H., KIMURA, S. Driving method for gate-delay compensation of TFT/LCD. IBM Journal of Research and Development [online]. 1998, 42 [cit. 2009-01-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.research.ibm.com/journal/rd/423/kusafuka.html>>.
- [22] The Contrast Ratio Game. Practical-Home-Theater-Guide.com [online]. 2007 [cit. 2009-01-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.practical-home-theater-guide.com/contrast-ratio.html>>.
- [23] Projector Contrast Ratio (CR) Review. Australian Interactive Multimedia [online]. 2008 [cit. 2009-01-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.ausmedia.com.au/projector%20contrast%20ratio.htm>>.
- [24] THG Unveils New LCD Benchmarking Method : More Measurements. TOM'S HARDWARE GUIDE [online]. 2004 [cit. 2009-01-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.tomshardware.com/reviews/-thg-unveils-lcd-benchmarking-method,886-10.html>>.
- [25] PAVLIS, Jakub. LED podsvícení - revoluce v LCD?. Notebook.cz [online]. 2006 [cit. 2009-01-02]. Dostupný z WWW: <<http://notebook.cz/clanky/technologie/2006/LED-podsviceni/>>. ISSN 1214-2875.
- [26] LCD Optics 101. 3M [online]. 2008 [cit. 2009-01-02]. Dostupný z WWW: <[http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en\\_US/Vikuiti1/BrandProducts/secondary/optics101/](http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/Vikuiti1/BrandProducts/secondary/optics101/)>.
- [27] Monitory LCD s podsvětlením LED. Světlo [online]. 2007 [cit. 2009-01-02]. ISSN 1212-0812.
- [28] LCD Color : 8-Bit vs. 6-Bit. About.com: PC Hardware / Reviews [online]. 2005 [cit. 2009-01-02]. Dostupný z WWW: <<http://compreviews.about.com/od/multimedia/a/LCDCColor.htm>>.
- [29] Grayscale and Color Generation with SLA/MLA products. Robotics & Automation Lab [online]. 2005 [cit. 2009-01-02]. Dostupný z WWW: <<http://robotics.ee.uwa.edu.au/eyejr/lcd/FRC-information.pdf>>.
- [30] ČSN EN ISO 13406-2 Ergonomické požadavky na práce se zobrazovacími displeji založenými na plochých panelech – Část 2: Ergonomické požadavky na displeje s plochými panely. 2001. [cit. 2009-01-02].
- [31] ARTAMONOV, Oleg. X-bit's Guide: Contemporary LCD Monitor Parameters and Characteristics [online]. 2004 , 26.10.2004 [cit. 2009-05-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.xbitlabs.com/articles/monitors/display/lcd-guide.html>>.
- [32] KOVÁČ, Pavel. Inovace testovací metodiky LCD monitorů. Svět hardware [online]. 2007 [cit. 2009-05-12]. Dostupný z WWW: <[http://www.svethardware.cz/art\\_doc-D58CFB826D6CF59FC12573770078130F.html](http://www.svethardware.cz/art_doc-D58CFB826D6CF59FC12573770078130F.html)>. ISSN 1213-0818.

- [33] GIBSON, Jason E., FAIRCHILD, Mark D. Colorimetric Characterization of Three Computer Displays (LCD and CRT). Munsell Color Science Laboratory Technical Report [online]. 2000 [cit. 2009-05-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.cis.rit.edu/mcsl/research/PDFs/GibsonFairchild.pdf>>.
- [34] JIN, Kim. Samsung Holiday in August SF Event. Displayblog [online]. 2008 [cit. 2009-05-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.displayblog.com/2008/08/06/samsung-holiday-in-august-sf-event/>>.
- [35] Eizo.cz : high-end-monitors [online]. [2005] [cit. 2009-05-01]. Dostupný z WWW: <[http://www.eizo.cz/pool/files/cz/wp\\_Doba\\_odezvy\\_a.pdf](http://www.eizo.cz/pool/files/cz/wp_Doba_odezvy_a.pdf)>.

# SEZNAM PŘÍLOH

<b>A.1 Zdrojový kód funkce kontrast - měření</b>	<b>50</b>
<b>A.2 Zdrojový kód funkce obrazec pro měření homogenity</b>	<b>51</b>
<b>A.3 Zdrojový kód funkce rovnoměrnosti barevných přechodů</b>	<b>51</b>
<b>A.4 Chyba označovaná jako „Block defect“</b>	<b>54</b>
<b>A.5 Ukázka LED podsvícení na LCD 40” televizi Samsung</b>	<b>55</b>
<b>A.6 Homogenita podsvícení LCD monitoru Philips 200WP7ES</b>	<b>56</b>
<b>A.7 Ukázka pozorovacích úhlu TN panelu ve vertikální rovině</b>	<b>57</b>
<b>A.8 Graf homogenity podsvícení pro LCD panel Philips 200WP7ES</b>	<b>60</b>
<b>A.9 Graf homogenity podsvícení pro LCD panel LG 200WTQ</b>	<b>61</b>
<b>A.10 Závislost změřeného jasů na nastavení jasů v menu monitoru Philips 200WP7ES</b>	<b>62</b>
<b>A.11 Stabilita kontrastu při změně nastavení jasů v menu monitoru Philips 200WP7ES</b>	<b>63</b>

## A.1 Zdrojový kód funkce kontrast - měření

```
procedure T ObrForm.ShowKontrastLcd;
{ 1:9:9:1 černá bílá černá bílá 5 45 45 5 %}
var Bila:boolean;
    i,j,w,h,h2:integer;
    procento: double;
begin
    {pocatecni nastaveni }
    if Not MainForm.KontInvertChkBox.Checked then begin {pro INVERTOVANE
barvy}
        Bila:=False;
        Canvas.Brush.Color:=RGB(255,255,255);
        ObrForm.Color:=RGB(0,0,0)
    end {pro NEINVERTOVANE barvy}
    else begin
        Bila:=True;
        Canvas.Brush.Color:=RGB(0,0,0);
        ObrForm.Color:=RGB(255,255,255)
    end;

    Case MainForm.KontrastRadGr.ItemIndex of {volba zobrazení obrazce pro
mereni kontrastu}
        0:begin { Testovací obrazec sachovnice }
            h:= (screen.height div 4); { vypocet vysky obdelniku, cislo za DIV
urcuje pocet obdelniku na vysku }
            w:= (screen.width div 4); { vypocet sirky obdelniku, cislo za DIV
urcuje pocet obdelniku na sirku }

            for i:=1 to 5 do {cyklus pro vytvoreni obdelniku po sloupcich}
            begin
                if i=5 then { pro pripad, ze vyska monitoru neni bezesbytku
delitelna 4 }
                begin
                    Bila:=not Bila;
                end;
                for j:=1 to 5 do {cyklus pro vytvoreni obdelniku po radcich }
                begin
                    Bila:=not Bila; { zmena barev }
                    if Bila then { vyber cerne nebo bile barvy }
                    begin { bila barva }
                        ObrForm.Canvas.Brush.Color:=clWhite;
                        ObrForm.Canvas.Pen.Color:=clWhite;
                    end
                    else
                    begin { cerna barva }
                        ObrForm.Canvas.Brush.Color:=clBlack;
                        ObrForm.Canvas.Pen.Color:=clBlack;
                    end; { vykresleni obdelniku }
                    ObrForm.Canvas.Rectangle(j*w-w,i*h-h,j*w,i*h);
                end;
            end;
        end;
        1:begin {vyber druhého testovacího obrazce pro mereni kontrastu}
            procento:= Width/100; { pomocná hodnota 1% šířky obrazu }

            with Canvas do begin
                FillRect(Bounds(trunc(5*procento), 0, trunc(45*procento),
Height)); { 45% šířky bílý pruh }
```



```

        FillRect(Bounds(trunc(95*procento), 0, trunc(5*procento),
Height)); { 5% bílý pruh }
        end;
    end;
end;
end;

```

## A.2 Zdrojový kód funkce obrazec pro měření homogenity

```

if MainForm.MrizChBox.Checked then { pokud je zatrhnuta mriz, tak se
vykresli mriz na bilem pozadi }
begin
g:= screen.width div 8; // screen.width
h:= screen.height div 8; //screen.height
y:=h;
x:=g;

Canvas.Pen.Width:=1; { sirka linek }
Canvas.Pen.Color:=clGray; { barva linek }

for k:=1 to 7 do
{ vykresleni linek po po sloupcich }
begin
Canvas.MoveTo(x,0);
Canvas.LineTo(x,screen.width);
x:=x+g;
end;
for k:=1 to 7 do
{ vykresleni linek po radcich }
begin
Canvas.MoveTo(0,y);
Canvas.LineTo(screen.width,y);
y:=y+h;
end;
end;
end;

```

## A.3 Zdrojový kód funkce rovnoměrnosti barevných přechodů

```

var d,x,i: integer;
    R,G,B: byte;
    a: real;
begin
    d:=screen.width div 6; { Obrazovku musime rozdelit na 6 casti, protoze
mame 6 barevných prechodu*, ktere
                        postupne vykreslujeme }
    a:=255/d; { Vypocet konstanty pro zaokrouhleni, kterou se bude nasobit
kazda barva
                        z duvodu, ze pocet pixelu na sirku neni vzdy stejny a
nerovna se maximalnimu
                        poctu 1536 barev}

    { * cervena > zluta
      zluta > zelena
      zelena > azurove modra

```

```

        azur. modra > modra
        modra > fialova
        fialova > cervena }

{Vychozi nastaveni barev}
R:=255;
G:=0;
B:=0;

{ Priradime hodnotu promenne d do promenne i }
i:=d;

for x:=0 to screen.width do
    begin
        if x<=d then { Pokud se nachazime v 1. sestine obrazky, tak se
vykresli prechod cervena > zluta }
            begin
                G:=Round(a*x); { Meni se zelena slozka barvy. Soucasnou pozici
(x) nasobime konstranou (a) }
                Form1.Image1.Canvas.Brush.Color := RGB(R, G, B); { Nastaveni
vysledne barvy pro prave vykreslovanou svislou primku}
            end
            else if x<=2*d then { Pokud se nachazime ve 2. sestine obrazovky,
tak se vykresli prechod zluza > zelena }
                begin
                    R:=Round(a*i); { Meni se cervena slozka barvy. }
                    Form1.Image1.Canvas.Brush.Color := RGB(R, G, B); { Nastaveni
vysledne barvy pro prave vykreslovanou svislou primku}
                    i:=i-1; { Snizujeme hodnotu pomocne promenne i, protoze je
potreba hodnotu cervene slozky snizovat z
hodnoty 255 do 0 }
                end
                else if x<=3*d then { Pokud se nachazime ve 3. sestine obrazovky,
tak se vykresli prechod zelena > azurove modra }
                    begin
                        B:=Round(a*i);
                        Form1.Image1.Canvas.Brush.Color := RGB(R, G, B);
                        i:=i+1; { Zvysujeme hodnotu pomocne promenne i, protoze je
potreba hodnotu modre slozky zvysovat z
hodnoty 0 do 255 }
                    end
                    else if x<=4*d then { Pokud se nachazime ve 4. sestine obrazovky,
tak se vykresli prechod azur. modra > modra }
                        begin
                            G:=Round(a*i);
                            Form1.Image1.Canvas.Brush.Color := RGB(R, G, B);
                            i:=i-1;
                        end
                        else if x<=5*d then { Pokud se nachazime ve 5. sestine obrazovky,
tak se vykresli prechod modra > fialova }
                            begin
                                R:=Round(a*i);
                                Form1.Image1.Canvas.Brush.Color := RGB(R, G, B);
                                i:=i+1;
                            end
                            else { Pokud se nachazime ve 6. sestine obrazovky, tak se vykresli
prechod fialova > cervena }
                                begin
                                    B:=Round(a*i);
                                    Form1.Image1.Canvas.Brush.Color := RGB(R, G, B);
                                    if i <> 0 then { ochrana z duvodu, abychom neodecitili od nuly

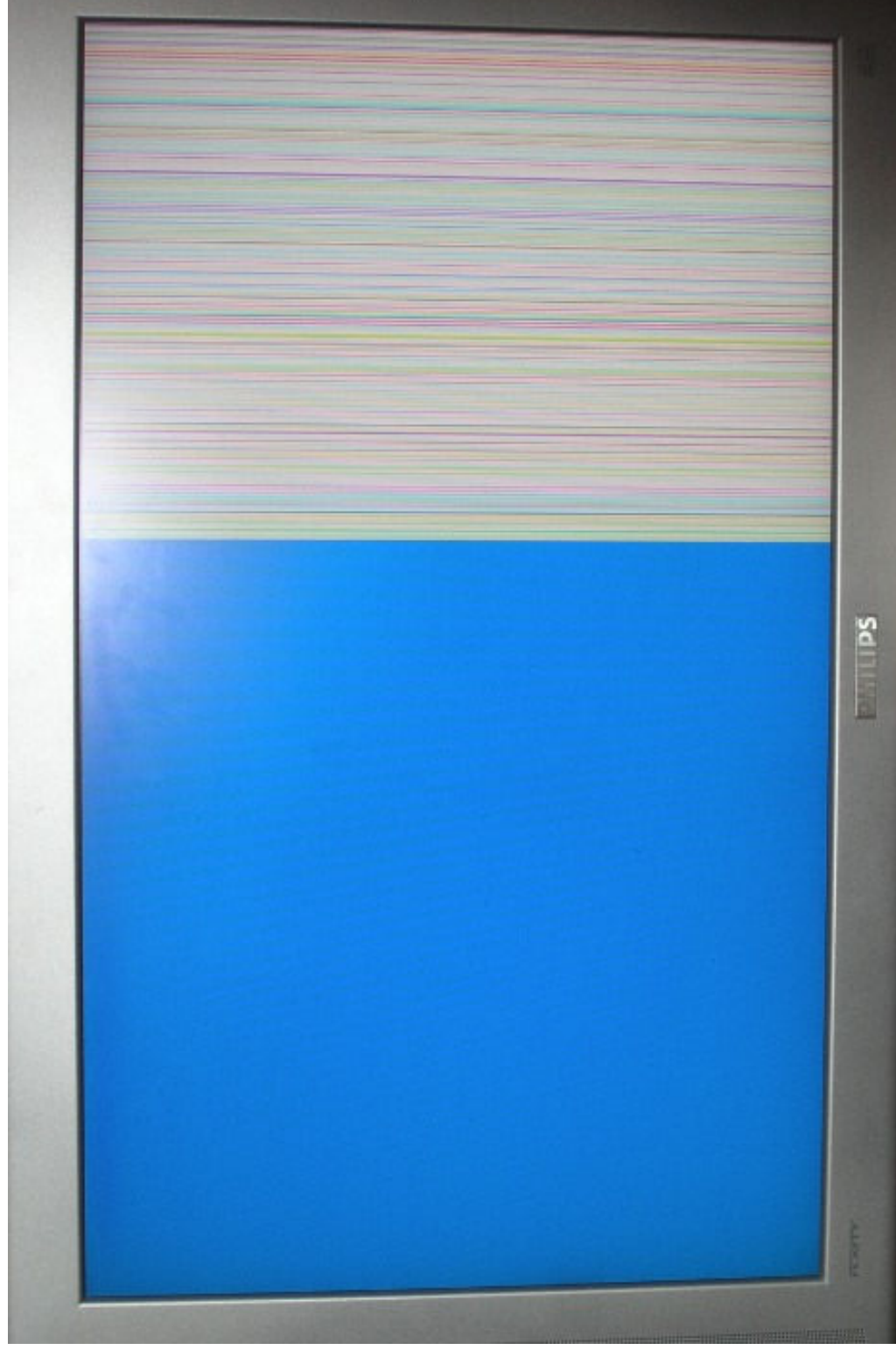
```

```

}
        begin
            i:=i-1;
        end;
    end;
    Form1.Image1.Canvas.FillRect(Rect(x, 0, x+1, screen.height)); {
Samotne vykreslovani }
    end;
end;

```

#### **A.4 Chyba označovaná jako „Block defect“**

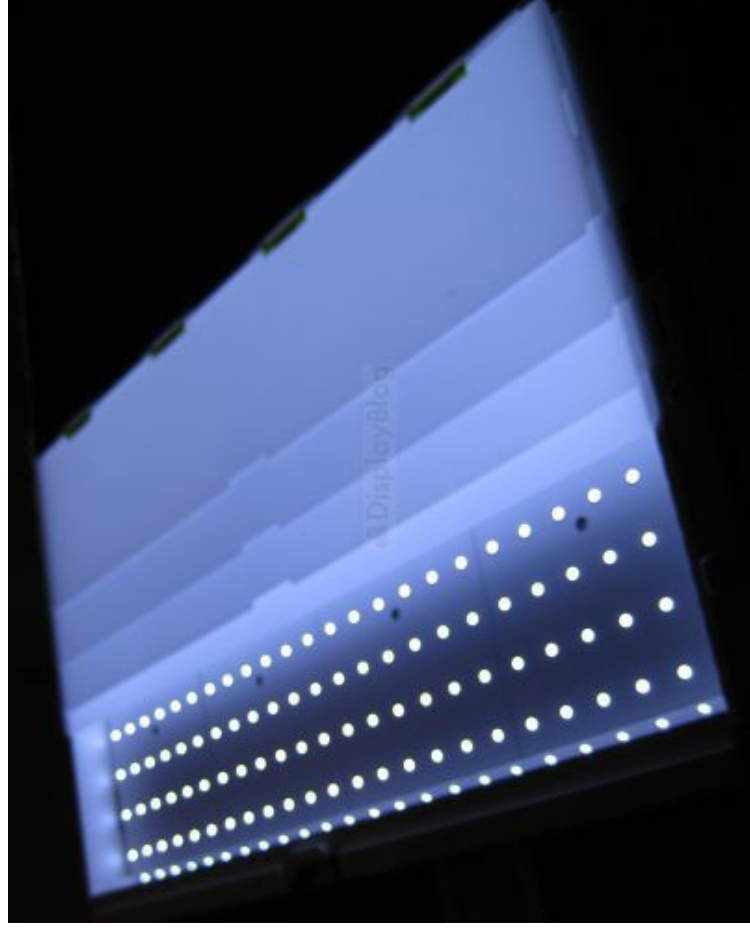


Obr. A1: Chyba označovaná jako „Block defect“ na LCD televizi Philips 26PF8946/12

## A.5 Ukázka LED podsvícení na LCD 40" televizi Samsung



Obr. A2: Ukázka vypnutého LED podsvícení na LCD TV Samsung [34]



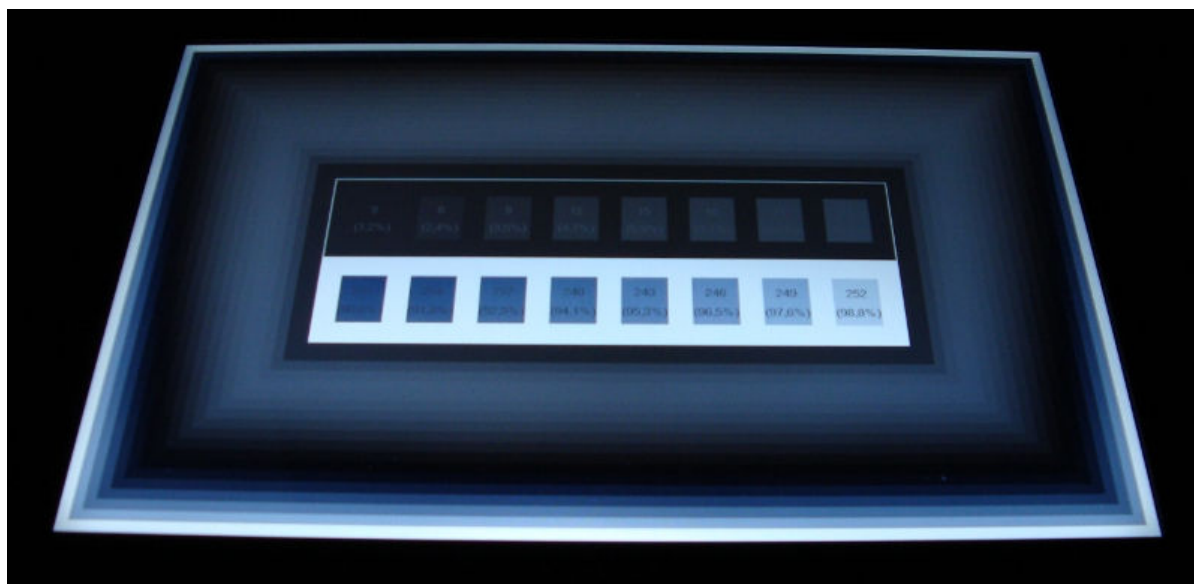
Obr. A3 : Ukázka zapnutého LED podsvícení na LCD TV Samsung [34]

## **A.6 Homogenita podsvícení LCD monitoru Philips 200WP7ES**

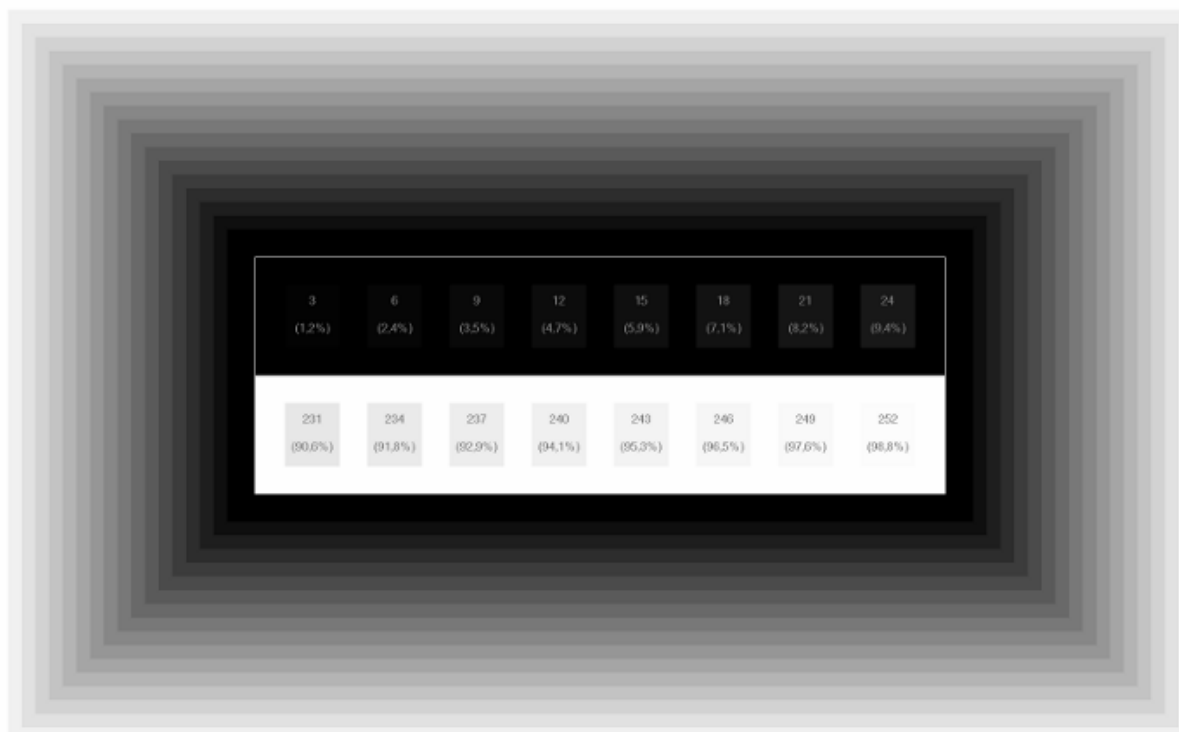


Obr. A5a: Ukázka nerovnoměrnosti podsvícení na LCD panelu Philips 200WP7ES. Foceno cca. z 1,5m

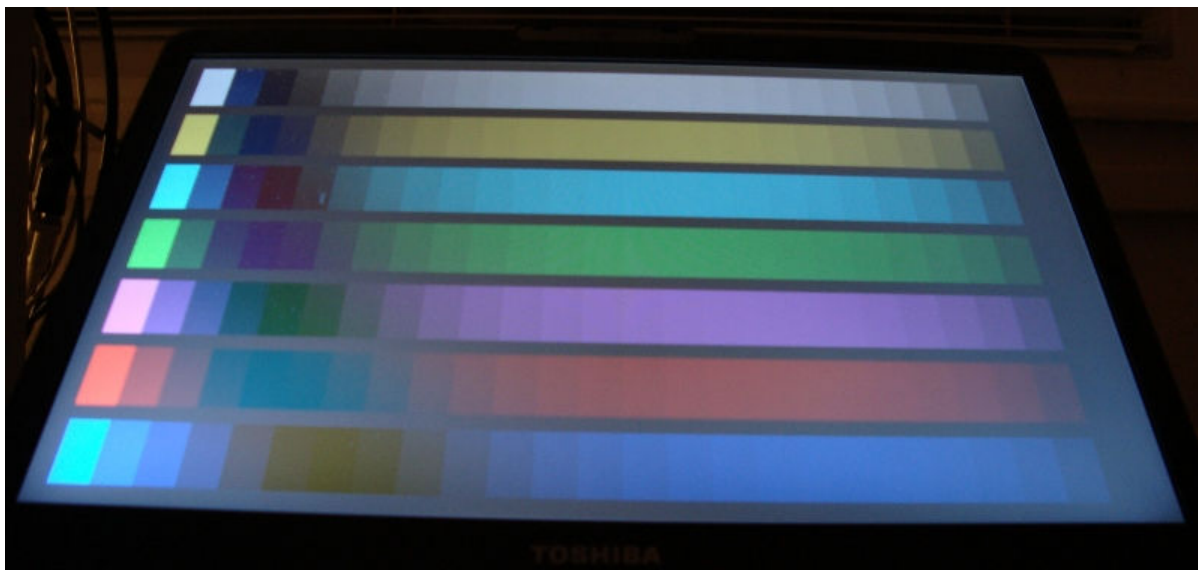
## A.7 Ukázka pozorovacích úhlu TN panelu ve vertikální rovině



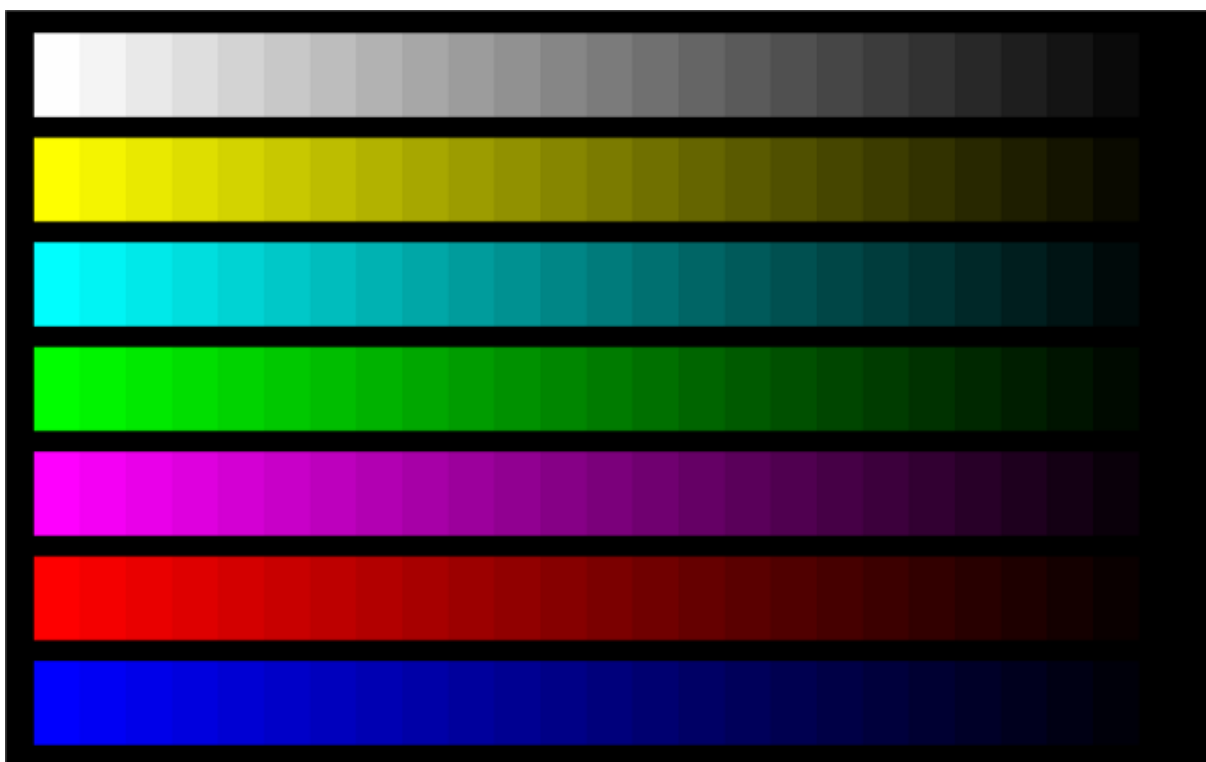
Obr. A6: Fotografie testovacího obrazce Jas a Kontrast - nastavení



Obr. A7: Vzorový výstup obrazce Jas a Kontrast – nastavení z programu M-tester

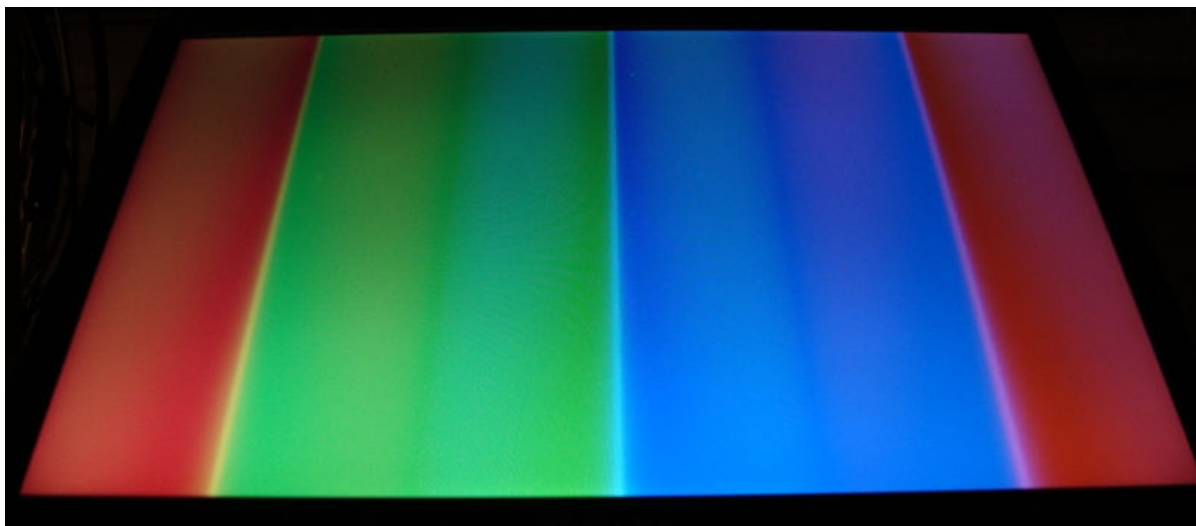


Obr. A8: Fotografie testovacího obrazce Srovnání Intenzit

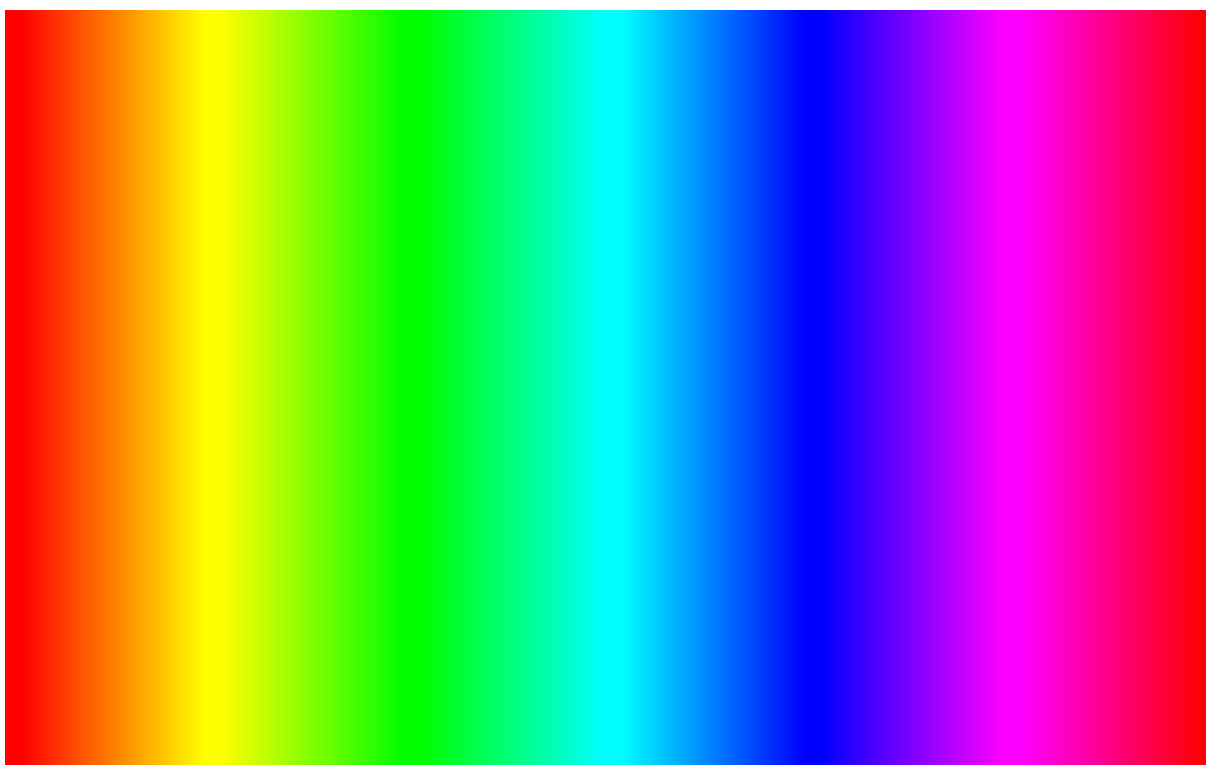


Obr. A9: Vzorový výstup obrazce Srovnání Intenzit – nastavení z programu M-tester



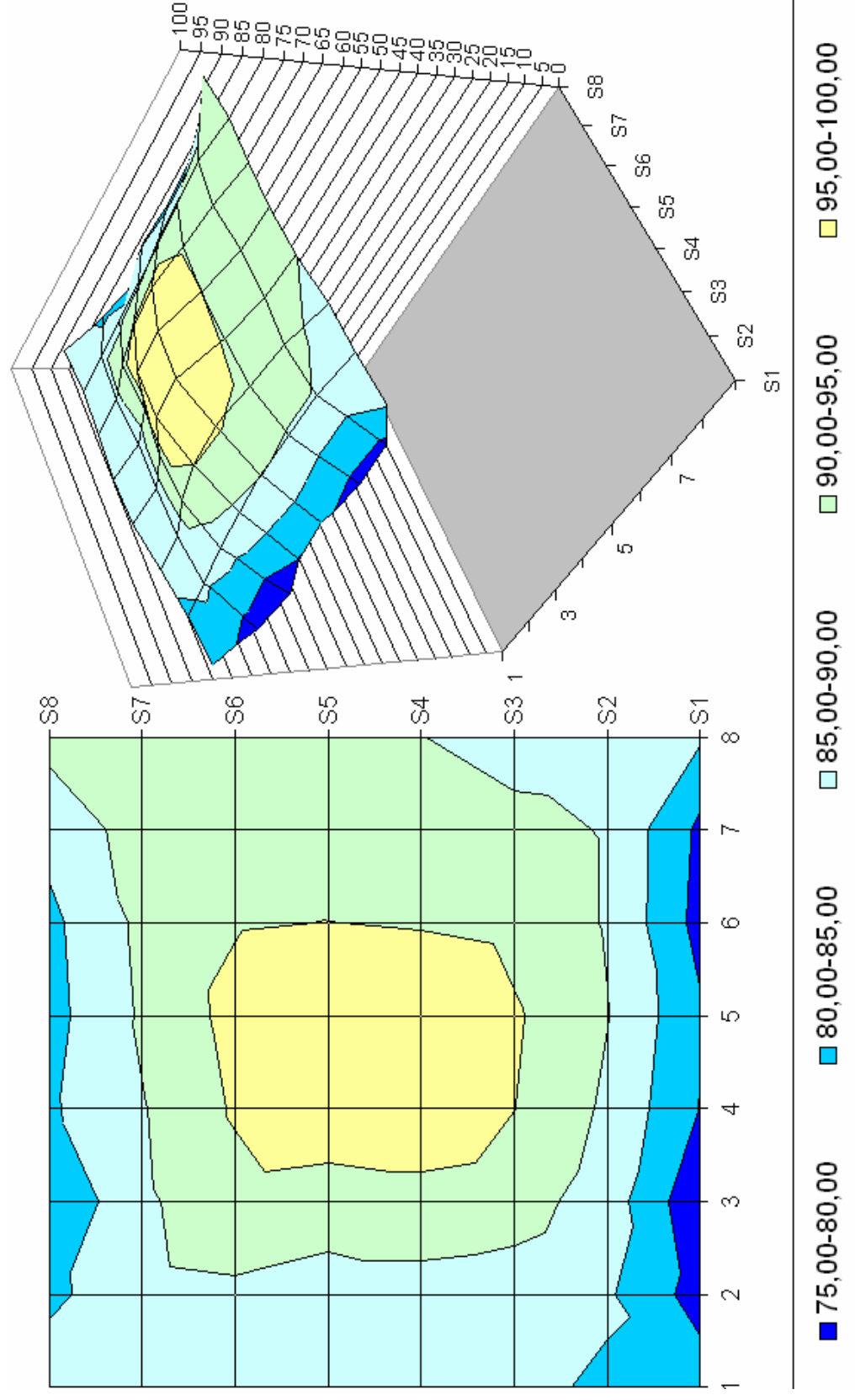


Obr. A10: Fotografie testovacího obrazce Duha – barevné spektrum



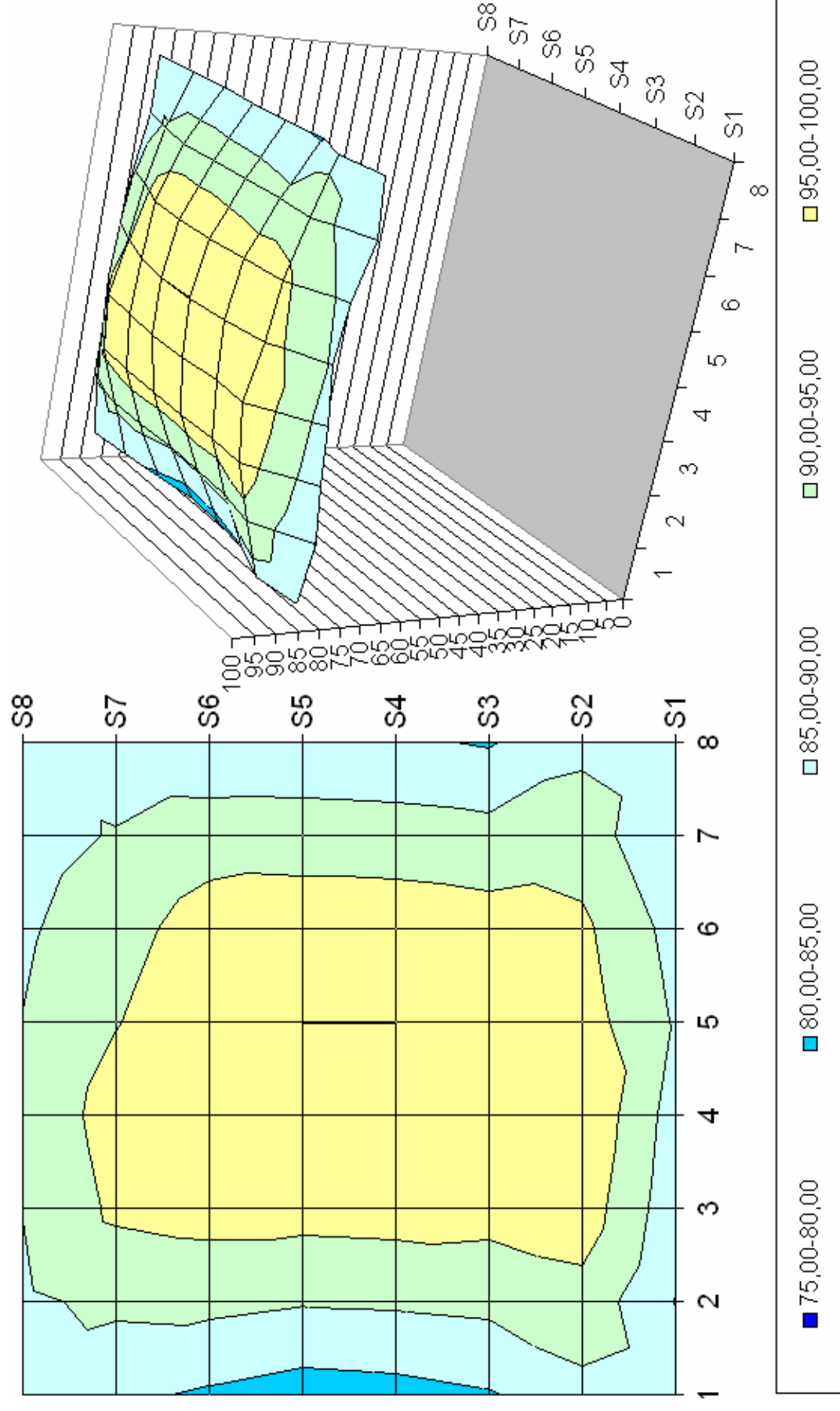
Obr. A11: Vzorový výstup obrazce Duha – barevné spektrum – nastavení z programu M-tester

## A.8 Graf homogenity podsvícení pro LCD panel Philips 200WP7ES



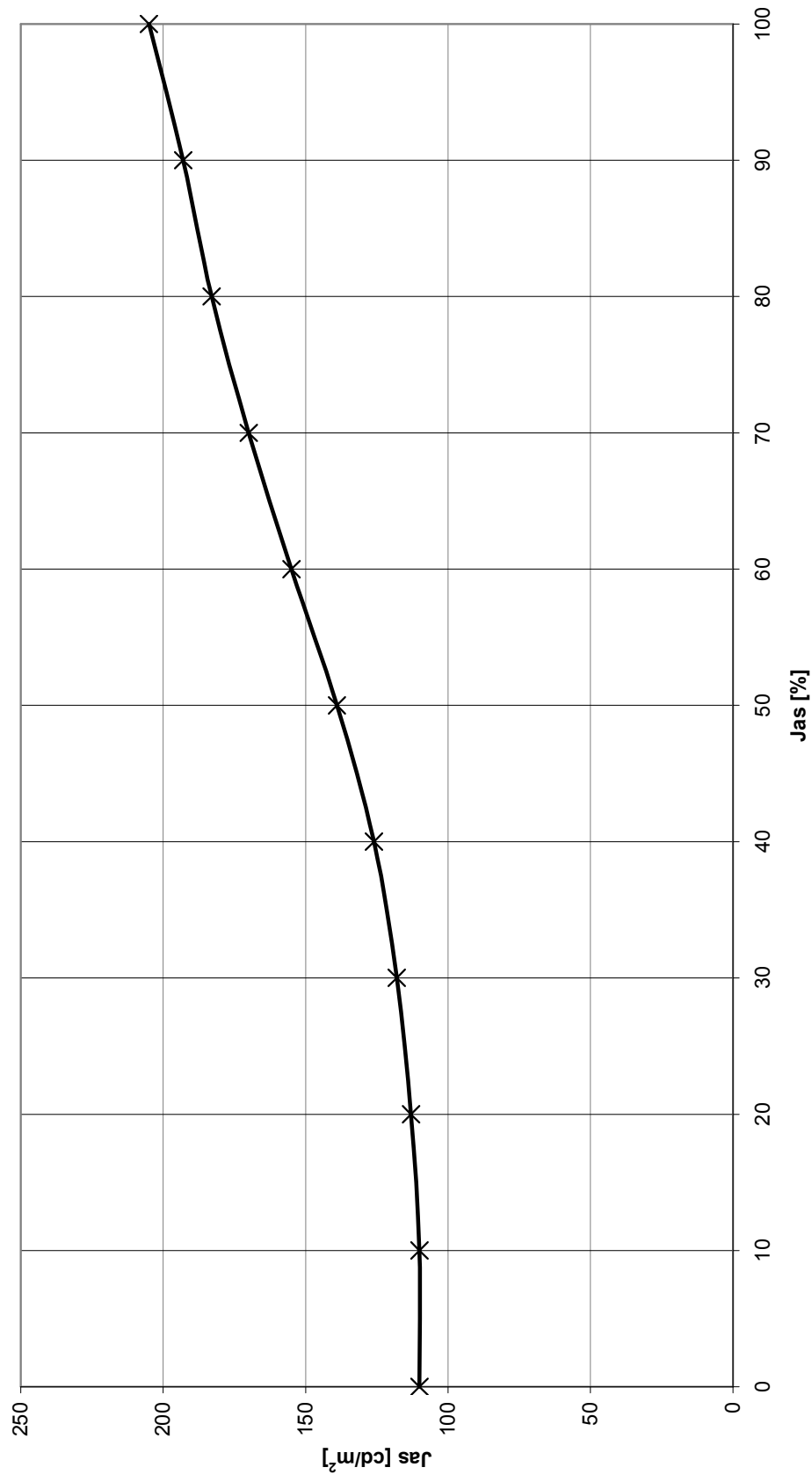
Graf A1 : Graf homogenity podsvícení v 2D a 3D rovině pro LCD panelu Philips 200WP7ES

## A.9 Graf homogenity podsvícení pro LCD panel LG 200WTQ



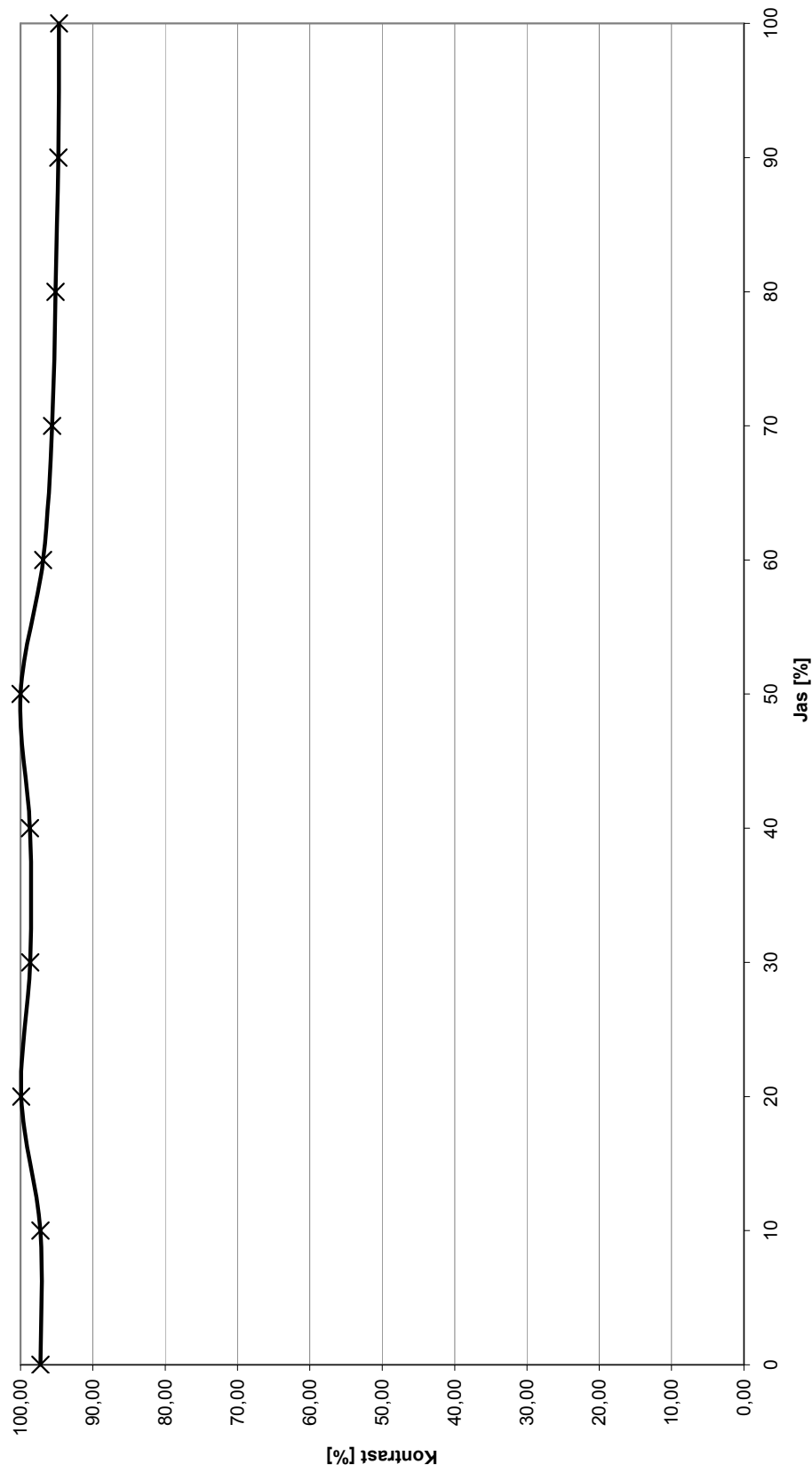
Graf. A2: Graf homogenity podsvícení v 2D a 3D rovině pro LCD panelu LG 200WTQ

## A.10 Závislost změřeného jasů na nastavení jasů Philips 200WP7ES



Graf. A3: Závislost změřeného jasů na nastavení jasů Philips 200WP7ES

## A.11 Stabilita kontrastu při změně nastavení jasu v menu monitoru Philips 200WP7ES



Graf A4: Stabilita kontrastu při změně nastavení jasu v menu monitoru Philips 200WP7ES